



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Sander Nahk

**ERINEVAT TÜÜPI TURBOKOMPRESSORITE MÕJU VESI-
METANOL PRITSESÜSTEEMIGA VARUSTATUD
DIESELMOOTORI EFEKTIIVSUSPARAMEETRITELE JA
HEITGAASIDE EMISSIOONIDELE**

DIFFERENT TYPES OF TURBOCHARGERS EFFECT FOR
EFFICIENCY PARAMETERS AND EXHAUST EMISSIONS ON A
DIESEL ENGINE EQUIPPED WITH WATER-METHANOL
INJECTION SYSTEM

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Risto Ilves, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrghariduse lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Sander Nahk		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Erinevat tüüpi turbokompressorite mõju vesi-metanool pritsesüsteemiga varustatud diiselmootori efektiivsusparameetritele ja heitgaaside emissioonidele			
Lehekülgi: 72	Jooniseid: 37	Tabeleid: 4	Lisaid: 7
Osakond: Tehnikakolledž Uurimisvaldkond: Projekt Juhendaja(d): Risto Ilves Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Antud töö eesmärgiks oli uurida vesi-metanool pritsesüsteemi mõju koos erinevate turbokompressoritega diiselmootori efektiivsusparameetritele ja heitgaaside emissioonidele. Selle jaoks töötati välja pritsesüsteem, mis koosneb kollektorist, pihustitest, kütuselatist, kütusepumbast ning kontrollierist. Kontrollier suudab lisaks juhtida muutuva geomeetriaga turbokompressorit.</p> <p>Töö käigus töötas autor välja kontrollieri ja vesi-metanool pritsesüsteemi, paigaldas need katseautole ning mõõtis autode katsestendiga katseauto efektiivsusparameetreid ning heitgaasianalüsaatoriga heitgaaside emissioone. Autor kandis saadud andmed Exceli ning leidis mõõtmiste keskmised ning koostas saadud andmete abil graafikud. Töö lõpus analüüsis autor saadud katseandmeid ning tegi järeldusi mõõtmiste ning tulemuste kohta.</p>			
Märksõnad: turbokompressor, kontrollier, pritsesüsteem			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Sander Nahk		Speciality: Technotronics	
Title: Different types of turbochargers effect for efficiency parameters and exhaust emissions on a diesel engine equipped with water-methanol injection system			
Pages: 72	Figures: 37	Tables: 4	Appendixes: 7
Department: Tartu Technology College Field of research: Project Supervisors: Risto Ilves Place and date: Tartu 2018			
<i>The aim of this thesis was to research the effects of water-methanol injection system and different types of turbochargers on a diesel engines efficiency parameters and exhaust emissions. During this thesis author designed and built a controller capable of controlling additional injection and turbocharger geometry. After installing controller and injection system on test car, author carried out tests with test car to get information about engine performance and exhaust emissions in different conditions. After analysing data, author gave conclusions about results and measuring.</i>			
Keywords: turbocharger, controller, injection-system			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS	7
1. DIISELMOOTORID JA NENDE ÜLELAADIMISSÜSTEEMID	9
1.1. Diiselmootori tööprotsess ja arengusuunad	9
1.2. Ülelaadimissüsteemid	11
1.3. Lisatoitesüsteemid diiselmootorile.	14
2. KATSEOBJEKTI ETTEVALMISTAMINE KATSETUSTEKS JA KATSEMETOODIKA	16
2.1. Toitesüsteemi väljatöötamine	16
2.1.1. Juhtseade.....	16
2.1.2. Vesi-metanool pritsesüsteem.....	19
2.1.3. Toitesüsteemi paigaldamine	19
2.2. Katsemetoodika väljatöötamine.....	23
2.3. Katseseadmete kirjeldus.....	24
2.3.1. Auto	24
2.3.2. Dynojet 224xLC	25
2.3.3. Bosch BEA 350	26

3. KATSEANDMETE ESITLUS JA ANALÜÜS	27
3.1. Efektiivsusparameetrite tulemused ja analüüs	27
3.2. Heitgaaside emissioonide tulemused ja analüüs	29
3.3. Hinnang välja töötatud süsteemile	33
KOKKUVÕTE	34
KASUTATUD KIRJANDUS	36
LISAD	38
Lisa A.	38
Lisa B.....	42
Lisa C.....	45
Lisa D	59
Lisa E.....	61
Lisa F.....	65
Lisa G	66

TÄHISED JA LÜHENDID

CNG -	Surugaas (ingl. <i>Compressed Natural Gas</i>)
EGT -	Väljalaskegaaside temperatuur(ingl. <i>Exhaust Gas Temperature</i>)
LPG -	Autogaas (ingl. <i>Liquefied Petroleum Gas</i>)
MAP-	Sisselaskekollektori absoluutrõhk (ingl. <i>Manifold Absolute Pressure</i>)
OHC-	Ülal asetsev nukkvõll (ingl. <i>Over Head Camshaft</i>)
PWM-	pulsilaiusmodulatsioon (ingl. <i>Pulse Width Modulation</i>)
TPS-	Gaasipedaali taseme andur (ingl. <i>Throttle Position Sensor</i>)
VR-	Muutuva magnetvälja (ingl. <i>Variable Reluctance</i>)

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on aktiivseks teemaks diiselmootorid ning nende keskkonna saastavus. Peale Volkswageni heitgaaside petutarkvara kasutamise avalikustamist vähenes riikide ning autotootjate huvi diiselmootorite vastu veelgi ning EU plaanib karmistada uute diiselmootorite regulatsioone.[1] Autor loodab töö käigus leida võimalikku leevendust vanemate diiselmootorite heitgaaside emissioonide probleemile.

Antud töö eesmärgiks on uurida erinevate turbokompressorite mõju vesi-metanool pritsesüsteemiga varustatud diiselmootori võimsusnäitajatele ning heitgaaside emissioonidele. Eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Anda ülevaade diiselmootoritest, nende ülelaadimis võimalustest ning lisatoitesüsteemidest.
2. Konstrueerida kontrolleri turbokompressori ja vesi-metanool pritsesüsteemi juhtimiseks.
3. Paigaldada autole kontrolleri.
4. Konstrueerida vesi-metanool pritsesüsteem.
5. Paigaldada autole vesi-metanool pritsesüsteem.
6. Katseseadmete ja katseauto ettevalmistamine.
7. Teostada mõõtmised üht tüüpi turbokompressoriga.
8. Paigaldada autole teist tüüpi turbokompressor.
9. Teostada mõõtmised teist tüüpi turbokompressoriga.
10. Analüüsida katsete tulemusi.
11. Anda hinnang välja töötatud süsteemile

Antud töö käigus juhitakse töö autori poolt loodud kontrolleri abil muutuva geomeetriaga turbokompressorit ning juhitakse vesi-metanool pritsesüsteemi pihusteid. Vedelkütuse pritsesüsteemis kasutatakse kolme erinevat katsekütust ning mõõtmisi teostatakse ka ilma lisapritsesüsteemita. Katsete käigus uuritakse diiselmootori heitgaasides süsinikoksiidide, süsinikdioksiidide, süsivesinike ja lämmastikoksiidide sisaldust ning heitgaaside tahmasust.

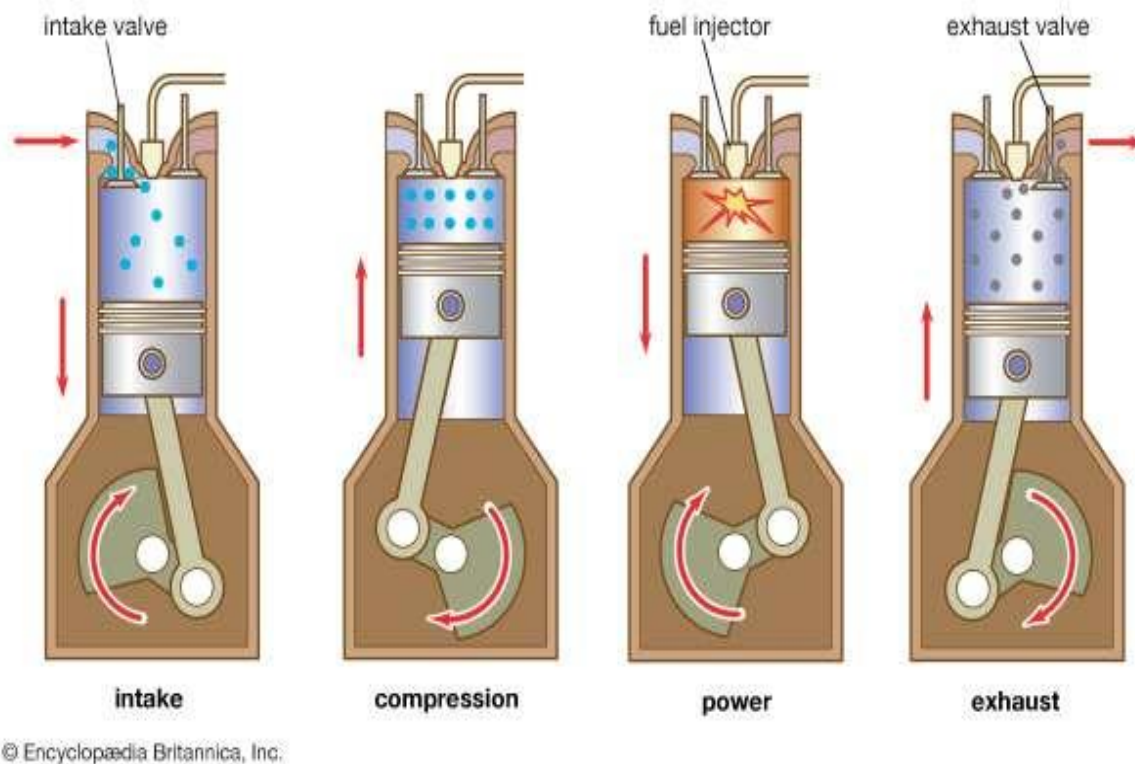
Samuti uuritakse erinevate katsekütuste kui ka turbokompressorite mõju diiselmootori efektiivsusparameetritele, milleks on võimsus ja pöördemoment.

Töö esimeses osas tutvustatakse diiselmootori tööprotsessi ja arengusuundasid, tutvustatakse erinevaid ülelaadmissüsteeme ning tutvustatakse ka lisatoitesüsteemide võimalusi diiselmootoritele. Töö teises osas kirjeldatakse kontrolleri väljatöötamist, pritsesüsteemi väljatöötamist, süsteemide paigaldamist katseautole ning katseobjekti ettevalmistamist katsetusteks. Veel kirjeldatakse katsemetoodika väljatöötamist. Töö kolmandas osas esitatakse katsetulemused ning neid analüüsitakse ning hinnatakse välja töötatud süsteemi.

1. DIISELMOOTORID JA NENDE ÜLELAADIMISSÜSTEEMID

1.1. Diiselmootori tööprotsess ja arengusuunad

Diiselmootori puhul on tegemist sisepõlemismootoriga, kus silindris surutakse kolvi poolt kokku õhk. Selle tulemusel õhu temperatuur silindris tõuseb nii kõrgele, et kui diislikütus silindrisse pihustatakse, siis see süttib. Põlemisel tekkinud gaasid suruvad kolvi silindris alla. Kuna kolb on vāntvõlliga läbi kepsu ühenduses, siis kolvi lineaarne liikumine muutub vāntvõlli pōrlevaks liikumiseks, mida on vōimalik āra kasutada tōō tegemiseks. Diiselmootori tōōpōhimōte on toodud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Diiselmootori tōōpōhimōte.[2]

Diiselmootor on oma nime saanud selle leiutaja, Rudolf Diesel, järgi. Diesel hakkas oma mootorit arendama selleks, et tõsta sisepõlemismootori efektiivsust ning eemaldada elektrooniline kütuse süütamine. Süütamist on võimalik eemaldada, sest kui survetaktis õhk kokku surutakse, siis see kuumeneb üle kütuse isesüttivuse temperatuuri piiri. Nende ideede kohta võttis ta ka patendid aastatel 1892 ja 1893. Esimene prototüüp kasutas kütusena söepulbrit, mida pihustati suruõhu abil silindrisse. Kuna kütusekoguse juhtimine oli raske, siis esimene mootor hävines plahvatuse tagajärjel. Peale seda õnnetust hakkas ta vedelat naftat kütusena kasutama ning seda pihustati samuti suruõhu abil mootoris.

Diiselmootor oli Esimese Maailmasõja ajal peamine allveelaevade jõuallikas, sest see oli ökonoomsem ja vastupidavam sõjaoludes. Samuti oli diislikütust ohutum käidelda kui autobensiini. Peale sõda hakati diiselmootoreid laialdasemalt kasutama ka tootmises, sest oli tööjõudu, kes oskasid diiselmootoritega ümber käia. Selleks et vähendada mootori tootmise ning hooldamise kulusid, arendati välja kahetaktiline diiselmootor, mis oli väiksema kompressiooniastmega ning kütuse süütamiseks kasutati hõõguvat toru.

Aja möödudes asendati suruõhusüsteem kütusepumba ja pihustitega. See tõi kaasa kütuse parema süttimise, vähendades aega, mis kulus kütuse süütamiseks, kuid väljalaskegaasides oli ikkagi liigsetes kogustes tahma. Silindris oli küll piisavalt õhku, et kütus saaks ilma üleliigse suitsuta põleda, kuid heitgaasid olid ikkagi suure tahmasusega, sest esialgsed pihustid pihustasid kütuse silindrisse joana ning seetõttu pidi iga kütuse aatom otsima omale hapniku aatomi. Kuna hapniku on õhus ainult 20% , siis kütusel oli üks viiele võimalus leida endale hapniku aatom, et saaks toimuda täielik põlemine. Põlemine muutus paremaks, kui kütust hakati mootoris pihustama koonusekujulise auruna ning silindris pandi õhk turbulentselt liikuma ülemise surnud seisu lähedal.

Diiselmootorid on jaotatud kolme põhilisse gruppi: väiksed, keskmised ja suured. Väikeste mootorite alla liigitatakse mootorid väiksema väljundvõimsusega kui 188 kW. Need mootorid on enamasti kasutusel sõiduautodes, väikeveokites, põllumajandus- ja tööstusmasinates ning ka väikestes statsionaarsetes generaatorites. Keskmise suurusega mootorid on väljundvõimsusega 188 kuni 750 kW. Need mootorid on põhiliselt kasutuses raskeveokites. Suured mootorid on väljundvõimsusega üle 750 kW. Neid mootoreid võib

leida merenduses, rongides, tööstuses kui ka suurtes elektrigeneraatorites. Need mootorid on ka tihti väiksema pöörlemissagedusega ning nende puhul on vastupidavus ning töökindlus tähtsad.[2]

Tänapäeva diiselmootorid on võrreldes esimeste mootoritega väga palju edasi arenenud ning heitgaaside emissioonid on ka vähenenud, sest tootjatele on sätestatud erinevad nõudmised CO₂ ning NO_x emissioonide kohta. Euroopa Liit plaanib karmistada ja parendada veelgi diiselmootorite heitgaaside emissioonide testimist, et vähendada heitgaaside emissioone looduse ja inimeste säästmiseks.[3]

Diiselmootoriga varustatud hübriide autotootjad üldiselt ei tooda, kuid Renault koos Continental'iga paigaldasid Scenic ja Grand Scenic mudelitele Continental'i välja töötatud 48 *Volt Eco Drive* süsteemi, mis peaks aitama vähendada kütusekulu ning heitgaaside emissioone.[4] Volkswagen avaldas *Vienna Motor Symposium* 'il oma uue diiselhübriidi, mis kasutab sarnaselt Continental'iga startergeneraatorit ja akut, mis peaks aitama vähendada kütusekulu ning tõsta kasutusmugavust. Lisaks startergeneraatorile muudeti ka mootori põlemisprotsessi ning vähendati mootori kaalu ning hõõrdetakistust.[5] Euroopa suuremad linnad hakkavad keelustama vanemate diiselmootorite kasutamist, seega paljud tootjad otsivad alternatiivseid lahendusi. Näiteks Saksamaal anti suurematele linnadele õigus keelata vanemate diiselautode sisenemine linna.[6] Pariisi linn plaanib keelustada kõik bensiini- kui ka diiselmootoriga varustatud autod aastaks 2030 ning Kopenhaagen plaanib keelustada kõigi diiselmootoriga varustatud autode sisenemine linna aastaks 2019 [7].

1.2. Ülelaadimissüsteemid

Mootorite efektiivsuse ning ka heitgaaside emissioonide vähendamiseks kasutatakse ülelaadimist, ehk mootorisse pumbatakse rohkem õhku kui ta on seda võimeline ise sisse imema. Selleks on kasutusel ülelaadurid, mis jagunevad kahte rühma: turbokompressorid ja õhulaadurid. Joonisel 1.2 on toodud nende põhimõtteskeemid.

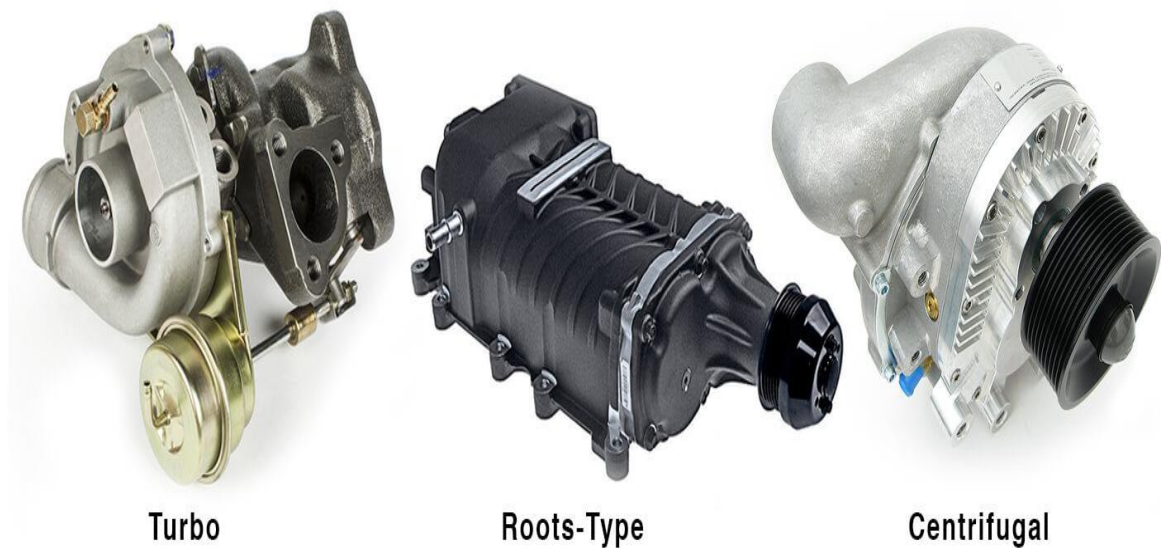


Joonis 1.2. Ülelaadimissüsteemide põhimõtteskeem

Turbokompressorid A on seadeldised, mis töötavad heitgaaside pealt. Turbokompressor koosneb lihtsustatult kolmest osast: kompressorist, turbiinist ning neid ühendavast võllist. Turbiini ajavad ringi mootori heitgaasid, mille tõttu läbi võlli ühendatud kompressor hakkab ka pöörlema. Kompressori pöörlemise tulemusel surutakse mootorisse õhku ning mida kiiremini kompressor pöörleb, seda rohkem rõhku tekitatakse. Turbiini kiiruse kontrollimiseks on kasutusel mitmeid variante. Üheks neist on heitgaaside möödavooluklapp (inglise keeles *wastegate*). Selle süsteemi puhul lastakse heitgaasid turbiinist möödavooluklapi abil mööda, et vähendada kompressori pöörlemiskiirust. Möödavooluklappi juhitakse enamasti membraanseadme abil, kus membraan on ühendatud aktuaatorvarda abil möödavooluklapiga ning avaldades tekkinud ülelaaderõhku membraanile see omakorda avab möödavooluklappi ning klappi aitab sulgeda membraanseadmes olev vedru, mis surub membraanile. Teine variant on kasutada muutuvat turbiinigeomeetriat. Selle süsteemi puhul kasutatakse reguleeritavaid juhtlabasid, mis muudavad heitgaaside voolu ristlõiget. Selline lahendus aitab väiksemate mootori pöörete juures panna turbiin ning kompressor kiiremini pöörlema ning seetõttu vähendada turbokompressori *lag*'i ehk aega, mil kompressor hakkab piisavalt kiiresti pöörlema, et mootorisse hakatakse suruma õhku. Labasid reguleeritakse kas vaakumi või elektrimootori abil.[8,9]

Õhulaadurid B kasutavad erinevalt turbokompressorist enda käitamiseks mootori vāntvõlli pöörlemist. Õhulaadurite eeliseks on see, et neil puudub peaaegu täielikult *lag*, sest nad

pöörlevad mootoriga proportsionaalselt. Nende kasutamise miinuseks on see, et nad kasutavad enda töös hoidmiseks mootori jõudu, mis üldiselt vähendab mootori võimsust ning üldist efektiivsust. Õhulaadurid jagunevad positiivse töömahuga ning dünaamilisteks õhulaaduriteks. Positiivse töömahuga õhulaadurite puhul pumbatakse mootorisse peaaegu alati sama kogus õhku ühe mootori pöörde kohta. Dünaamilised õhulaadurid meenutavad turbokompressoreid, sest rõhku tekitab sarnane kompressoriratas, aga seda ajatakse ringi läbi ülekande rihma või keti abil.[9,10] Joonisel 1.3 on toodud kõrvuti ülelaadimissüsteemid.



Joonis 3.1. Ülelaadimissüsteemid[11]

Joonisel 3.1 kujutatud esimene ülelaadur on turbokompressor heitgaaside möödavooluklapi süsteemiga. Keskel on toodud positiivse töömahuga õhulaadur ning paremal on dünaamiline õhulaadur.

1.3. Lisatoitesüsteemid diiselmootorile.

Diiselmootoritel on sarnaselt bensiinimootorile võimalik kasutada lisatoitesüsteeme. Üheks võimaluseks on kasutada CNG lisatoitesüsteemi. Nende suurem kasu tekib siis, kui neid kasutatakse tarbesõidukitel. CNG süsteemide kasutamine aitab vähendada heitgaaside emissioone ning vähendada kulusid. CNG süsteemide kasutamine ei mõju diiselmootoritele halvasti, sest kütuse kogused on vastavalt autole ja vajadustele reguleeritud.[12] Lisaks CNG'le on võimalik kasutada ka autogaasi LPG. Erinevalt bensiinimootorist, kus süütamine toimub süüteküünalde abil, on vaja diiselmootoril kasutada diislit gaasi ja õhu segu süütamiseks. Kuna õhu ja CNG või LPG segu silindris aitab diisli paremini põleda, siis kasvavad ka mootori efektiivsusparameetrid ning vähenevad heitgaaside emissioonid. Juhul kui gaasisüsteemi paigaldamisel ei soovita mootori efektiivsusparameetreid suurendada, siis tuleb auto juhtaju ümber seadistada, selleks et vähendada mootoris pihustatava kütuse hulka mis omakorda põhjustab efektiivsusparameetrite vähenemist.[13]

Lisaks gaasiseadmetele paigaldatakse ka diiselmootoritele vedelkütuste pritsesüsteeme. Nende süsteemide puhul kasutatakse kütustena kas puhast vett või vee-metanooli või vee-etanooli segu. On võimalik kasutada ka puhast metanooli või etanooli, aga see on ohtlik, sest puhas etanool või metanool on tuleohtlik vedelik. Vedelkütuste pritsesüsteemi kasutatakse kas *EGT* ehk väljalaskegaaside temperatuuri vähendamiseks või ka mootori efektiivsusparameetrite tõstmiseks. Kui kasutatakse kuni 50:50 vee ja metanooli segu, siis kasvavad mootori efektiivsusparameetrid ning väheneb *EGT*. Kui kasutatakse puhast vett, siis väheneb ainult *EGT*. Väljalaskegaaside temperatuuri vähendamine on vajalik neile, kes veavad rasket veost või sõidavad mägistel teedel, selleks et ära hoida väljalaskekollektorite purunemine, turbokompressori enneaegne purunemine või halvimal juhul ka mootori sisemiste detailide purunemine. Vedelikkütuste pritsesüsteemi puhul pihustatakse mootori sisselaskesüsteemi vesi või vee ja metanooli segu, mis neelab endasse ümbritsevat soojusenergiat ning liigub koos õhuvooluga silindrisse. Kui algab mootori survetakt, siis jätkub vedeliku soojusenergia imendumine ning kuna rõhu kasvades kasvab ka vedeliku keemispunkt, siis vedelik on suuteline üha rohkem soojusenergiat endasse imema. Kui diislikütus silindrisse pihustatakse ning see süttib, siis vabanenud soojus ületab vedeliku

keemispunkti ning vedelik aurustub. Aurustumise käigus hapniku molekulid reageerivad diisli molekulidega ning seetõttu on täielikuks põlemiseks olemas lisahapnik. Kuna eelnevalt on vee või vee ja metanooli segu endasse imenud soojusenergiat, siis väheneb ka põlemistemperatuur, mis aitab vähendada NO_x sisaldust heitgaasides. Kui vedelikus on ka metanooli, siis selle põlemise tagajärjel kasvavad ka mootori efektiivsusparameetrid. Vedelikkütuste pritsesüsteemi hakati kasutama esialgu Teise Maailmasõja aegsete hävitajate peal, et suurendada nende efektiivsusparameetreid, mis aitaks kaasa õhku tõusule ning samuti ka õhuvõitlustele.[14]

Vedelkütuste pritsesüsteemide mõju diiselmootori emissioonidele on eelnevalt uuritud Hiinas Pekingi Tehnoloogiainstituudis kus leiti, et vee pihustamisel sisselaskesse vähenesid NO_x kui ka tahmasuse sisaldus heitgaasides.[15] Kuna EU regulatsioonid diiselmootorite kasutamisele karmistuvad, siis soovis töö autor leida võimalikku lahendust vanemate diiselmootorite heitgaaside emissioonide poolt tekitavate probleemide vähendamiseks kasutades vedelkütuse pritsesüsteemi.

2. KATSEOBJEKTI ETTEVALMISTAMINE

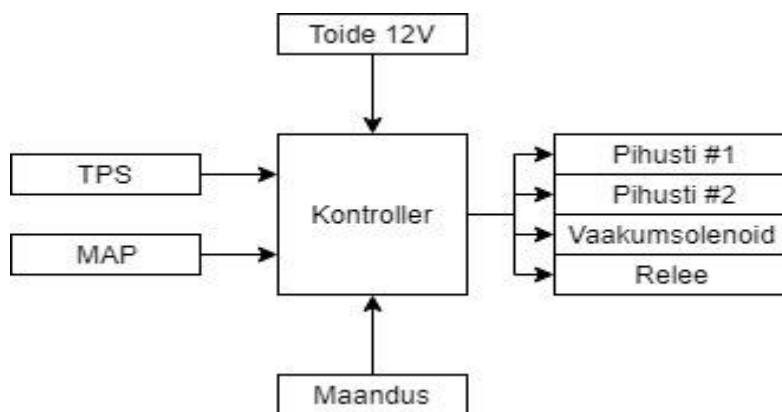
KATSETUSTEKS JA KATSEMETOODIKA

2.1. Toitesüsteemi väljatöötamine

2.1.1. Juhtseade

Selleks et juhtida muutuva geomeetriaga turbokompressorit ning vesi-metanool pritsesüsteemi, tuli töö autoril välja töötada sobiv kontrolleri. Kontrolleri trükkplaat loodi kasutades tarkvara Autodesk Eagle. Tegu on vabavaralise tarkvaraga, milles on mugav luua vajalikku trükkplaati. Esimese asjana pani autor paika, millise võimekusega peaks olema loodav kontrolleri. Autor leidis, et kontrolleri peaks saama minimaalselt informatsiooni *MAP* ning *TPS* kohta ning peaks omama väljundeid vähemalt kahe pihusti ning vaakumsolenoidi juhtimiseks. Autor valis kontrolleri protsessoriks Atmega 32u4, sest on sellega eelnevalt kokku puutunud. Protsessoril on piisavalt väljundeid ning võimekust, et saada ülesandega hakkama. Kuna protsessoril jäi sisendviike üle, siis autor lisas sisendid sisselaske, jahutusvedeliku ning väljalaskegaaside temperatuuri andurite jaoks. Samuti on plaadile disainitud VR anduri signaali töötlev loogika, mis põhineb Josh Stewart'i poolt loodud *VR Conditioner*'l[16]. Selle loogika ülesandeks on mootori ning kiiruse signaali töötlemine protsessorile sobivaks signaaliks. Trükkplaadile on disainitud kolm väikese voolujuhtivusega väljundit, mis kasutavad *MOSFET* tüüpi transistoreid tootjalt Infineon mudelinimetusega IRLML2060TRPBF, mida saab kasutada näiteks kiiruse kui ka mootori pöörete informatsiooni edastamiseks näidikutepaneelile või relee juhtimiseks. Vaakumsolenoidi juhib *power-MOSFET* transistor IRLZ24NPBF tootjalt Infineon, mis on võimeline pidevalt juhtima voolu kuni 16A ning vesi-metanool pritsesüsteemi pihusteid juhivad *power-MOSFET* transistorid STP62NS04Z tootjalt ST Microelectronics, mis on suutelised juhtima voolu kuni 62A. Atmega 32u4 protsessoril on sisse ehitatud USB kontrolleri, seetõttu on plaadile disainitud ainult *Micro-USB* pesa, mille kaudu on võimalik programmeerida kontrolleri. Kontrolleri saab oma toite auto elektrisüsteemist, mis on

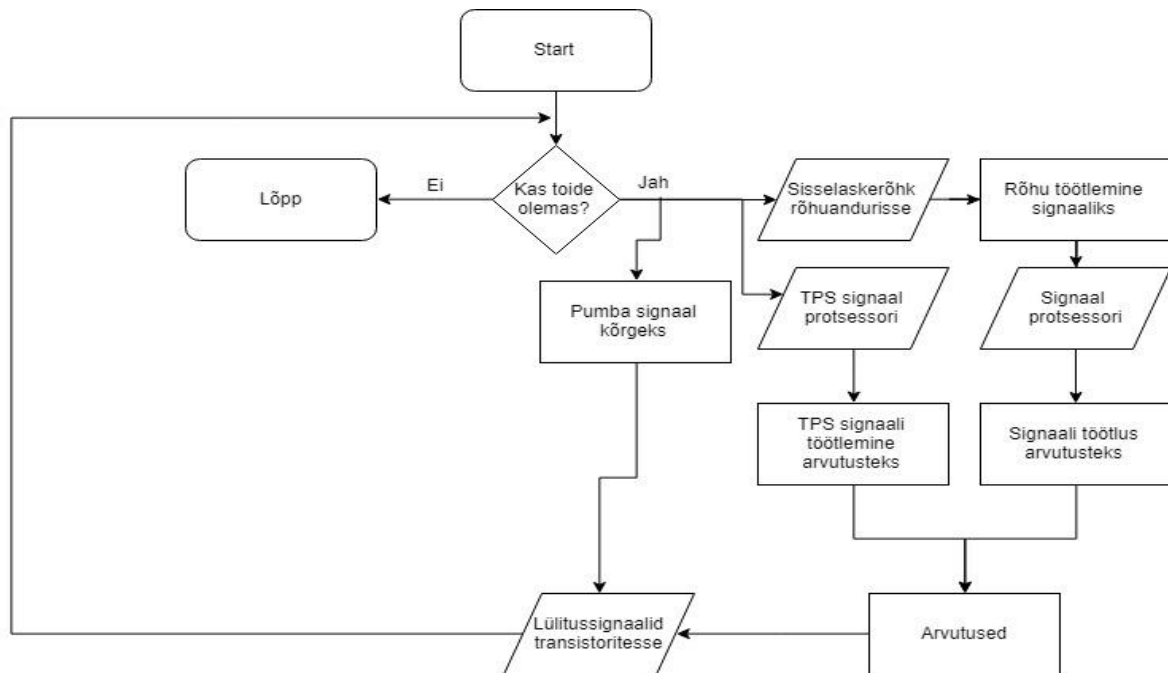
pingega 12V ning kuna protsessor ning muud loogikaskeemid toimivad 5V pealt, peab kasutama toiteahelas pingemuundurit. Selleks valis autor Texas Instrument poolt loodud LM2940T-5.0, mis on mõeldud kasutamaks autonduses, sest omab sisse ehitatud polaarsuskontrolli ning ka ülepingekaitset. Plaadile on paigaldatud kaks lülitit, mille abil toimub kontrolleri taaskäivitamine kui ka programmeerimis režiimi viimine. Plaadile on paigaldatud rõhu andur NXP toodangust mudelinimetusega MPXHZ6400. Tegu on absoluutrõhuanduriga, mis suudab mõõta vahemikus 20-400 kPa ehk kontrolleri saab kasutada kuni 3 bar ülelaaderõhku tootva mootori peal. Lisas A on välja toodud elektroonikaskeem ja lisas B trükkplaadi skeem. Kontrolleri kood on kirjutatud Arduino programmeerimiskeeles, mis on lihtsustatud variant C ja C++ keeltest ning programmeerimiskeskonnana kasutas töö autor Atmel Studiot, milles kirjutati kood ning mille abil programmeeriti kontrolleri. Töö autor disainis kasutades tarkvara SolidWorks kontrolleri korpuse, mis prinditi välja 3D printeriga ning mis oleks IP-kaitseastmega IP20, ehk kaitseb tahkete osade vastu, mis suuremad kui 12.5mm ning ei oma kaitset vedelike vastu. Korpuse disain välja toodud lisas E.



Joonis 2.1. Kontrolleri sisendite-väljundite skeem.

Joonisel 2.1 on välja toodud kontrolleri üldine sisendite ja väljundite skeem, mida autor vajab lõputöö koostamiseks. Vedelkütuste pritsesüsteemi pihusteid juhitakse kasutades sisselaskerõhu väärtust. Rõhu väärtust võrreldakse ette antud juhtumitega ning vastavalt juhtumile avatakse pihusteid teatud millisekunditeks. Muutuva geomeetriaga turbokompressorit juhitakse vaakumsolenoidi abil. Solenoidi juhitakse *PWM* signaali abil,

mille kontrolleri arvutab välja sõltuvusest sisselaskerõhust ning *TPS* väärtusest. Seda kõike korratakse lõputus tsüklis. Enne tsüklit lülitatakse sisse relee, mille abil toidetakse pihusteid ning vaakumsolenoidi. Kood on välja toodud lisas G.



Joonis 2.2. Kontrolleri loogika vooskeem.

Joonisel 2.2 on välja toodud juhtseadme loogika vooskeem. Kui kontrolleri on toide olemas, siis töödeldakse *TPS* ning sisselaskerõhu signaalid ning nende abil tehakse arvutused, mille tulemusel juhitakse transistorite tööd. Pumba transistor on alati toite sisse lülitamisel sisse lülitatud, sest lisaks pumbale toidetakse sama relee alt ka pihusteid ning vaakumsolenoidi 12 voldise pingega.

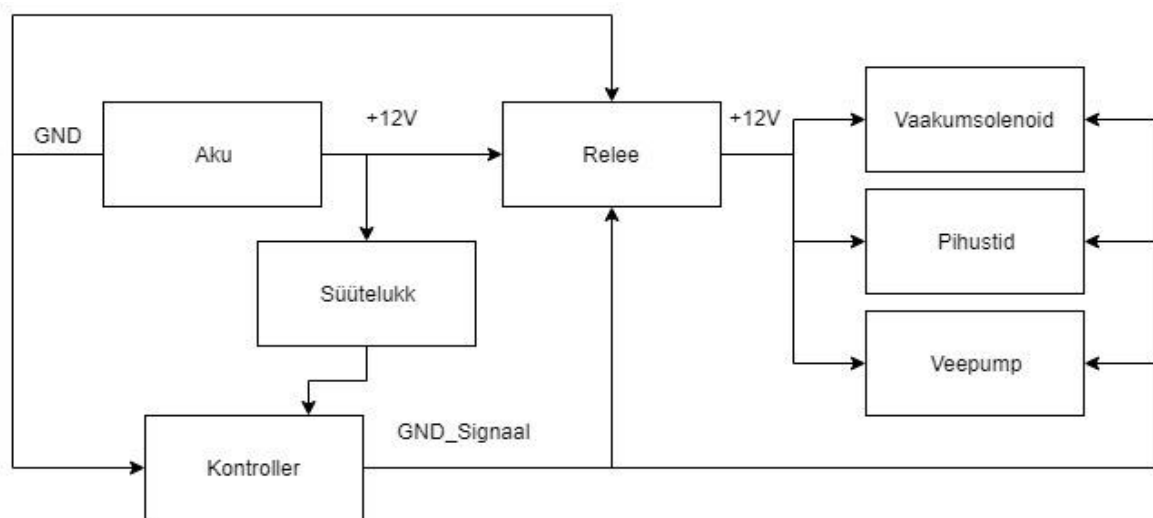
2.1.2. Vesi-metanool pritsesüsteem

Selleks, et paigaldada autole vesi-metanool pritsesüsteem, pidi töö autor välja töötama sisselaskesüsteemile lisa, kuhu oleks võimalik paigaldada vesi-metanooli pritsesüsteemi pihustid. Kollektorile sobivaks kohaks sai sisselaskekollektori ette paigaldatud *EGR* adapter, mille eemaldamisel tekkis piisavalt ruumi ning jäi alles sobiv koht, kuhu kinnitada uus kollektor. Kollektori küljele sai tehtud pihustitele vajalikud avad ning need said paigaldatud sellise nurga alla, et kapott saaks ilusti sulguda, kui kogu süsteem on paigaldatud. Pihustitena on kasutusel Bosch'i pihustid tootekoodiga 0280150431. Pihustite voolavuseks on märgitud 3- bar rõhu juures 260g N-heptaani minutis, mis on võrdne autobensiini voolavusega 380 kuupsentimeetrit minutis. Kütuselatina on kasutusel BMW M43 rida 4 bensiinimootori kütuselatt, mis on modifitseeritud vastavalt, et seda saaks kasutada kahe pihusti toitmiseks. Samuti on sellel kütuselatil alles tehase rõhuregulaator, mis hoiab 3 bar'i rõhku ning mis vastavalt sisselaske rõhu tõusule tõstab ka kütuselati rõhku, et pihustid pihustaks alati sama koguse vedelkütust. Segu aitab pumbata kütuselatti 12V pealt töötav membraanpump, mille tootlikus on 4 liitrit minutis ning mis suudab toota kuni 5.5 bar'i rõhku. Pihustite ja pumba toite lülitamiseks kasutatakse releed, mida lülitatakse sisse kontrolleri poolt. Pihustite signaalid on otse ühendatud kontrollerrisse ning iga pihusti lähedale on paigaldatud ka Schottky diodid positiivse ja negatiivse juhtme vahele, mis aitavad kontrolleri kaitsta pihustites tekkiva induktioonvoolu eest, mis võiks kahjustada kontrollerris olevaid transistoreid. Kontrolleri saab toite auto süütelukust, ehk kui süüde sisse keerata, siis lülitatakse ka sisse kontrolleri.

2.1.3. Toitesüsteemi paigaldamine

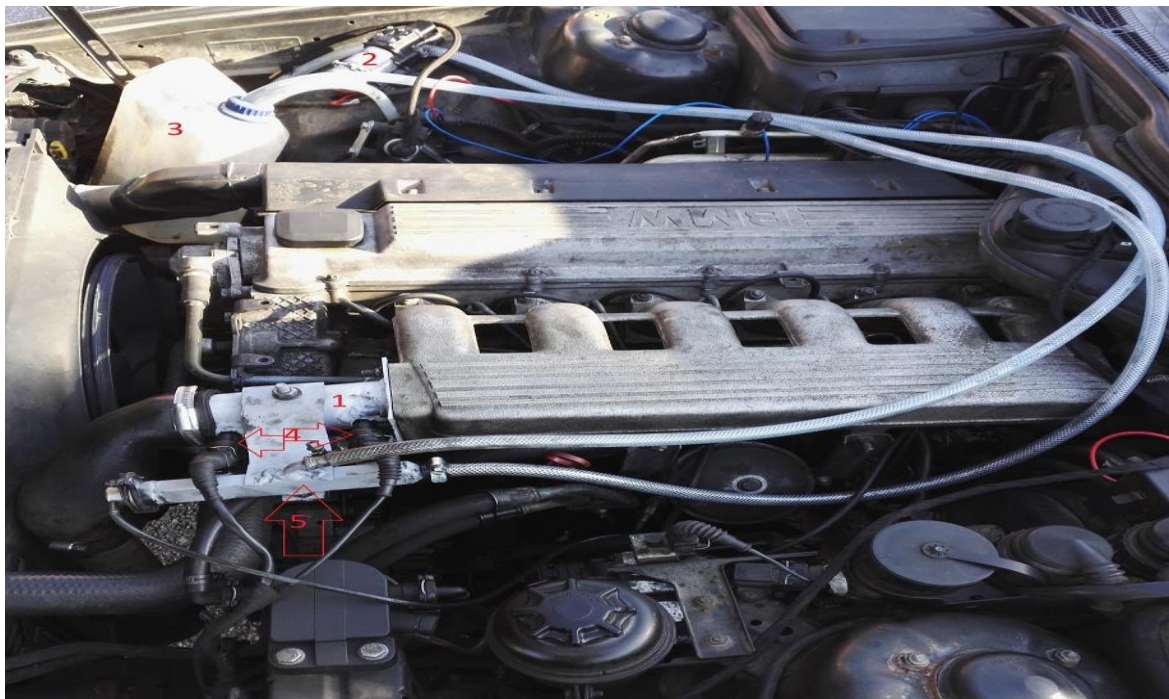
Enne süsteemide katseautole paigaldamist, tegi autor katseauto mootorile hoolduse, kus kontrolliti üle vedelikud ja muud detailid ning teostati mootoriõli ning õlifiltri vahetus. Peale seda oli auto valmis süsteemi paigaldamiseks.

Kontroller on paigaldatud katseauto salongis asuvasse kindlaekasse. Läbi auto tulemüüri on veetud sisselaskesüsteemiga ühendatud õhuvoolik rõhuanduri jaoks ning signaalijuhtmed pihustite ja vaakumsolenoidi ning relee jaoks. Samuti on läbi tulemüüri toodud miinusjuhe kontrollerile. Kontroller saab toite katseauto süütelukust, sest siis ei pea lisalülitust kontrolleri sisse ja välja lülitamiseks kasutama. Joonisel 2.3. on toodud üldine süsteemide toiteskeem.



Joonis 2.3. Süsteemide üldine toiteskeem.

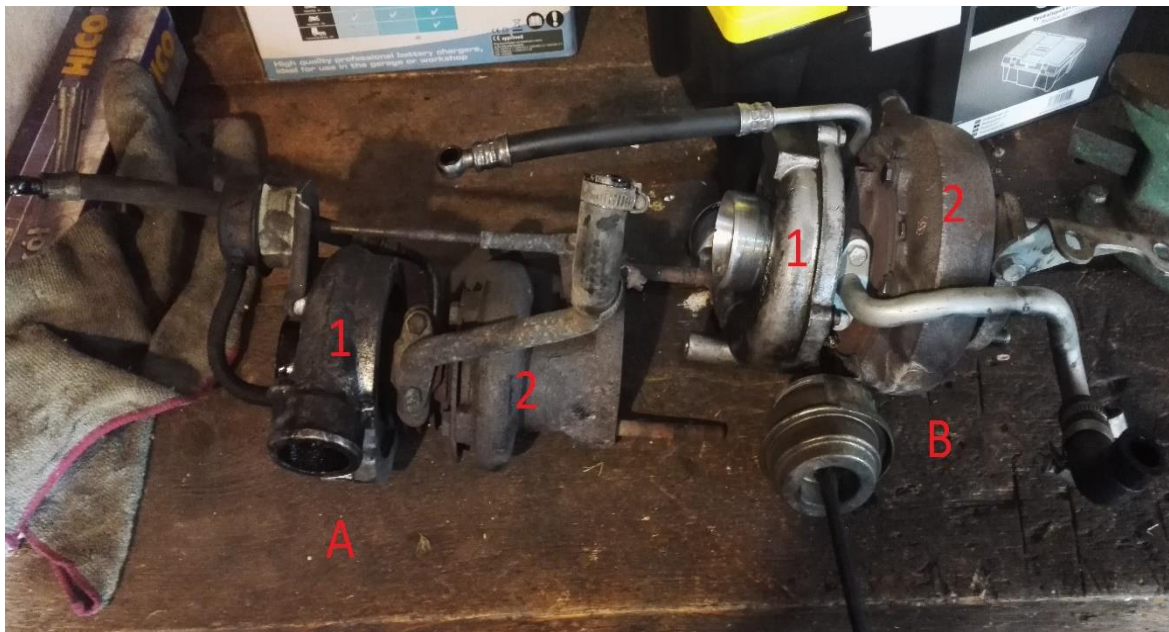
Vesi-metanool pritsesüsteem on paigaldatud mootoriruumi. Klaasipesupaagi eemaldamisel jäi piisavalt ruumi, et paigutada ära 5L kanister. Kanistreid kasutati selleks, et katsekütuseid oleks lihtsam vahetada. Veepump paigutati kanistri lähedale. Kollektor koos pihustite ja kütuselatiga paigutati originaal sisselaskeskollektori otsa.



Joonis 2.4. Vesi-metanool pritsesüsteem.

Joonisel 2.4 on kuvatud katseautole paigaldatud vesi-metanool pritsesüsteem. Pump 2, mis saab kanistrist 3 katsekütuse ning pumpab selle kütuselatti 5. Pihustitega 4 pihustatakse katsekütus kollektorisse 1, millest see liigub edasi mootorisse õhu abil. Kollektori ja kütuselati tehnilised joonised on toodud lisas C.

Katseauto on tehasest varustatud heitgaaside möödavooluklapi disainil põhineva turbokompressoriga, mille tootjaks on Garrett ning mudeliks TB251. Muutuva geomeetriaga turbokompressoriks valis autor järgmise generatsiooni BMW 5nda seeria diiselmootoritele paigaldatava turbokompressori, mis on toodetud Garrett poolt ning mille mudeliks on GT2556v. Joonisel 2.5 on toodud kõrvuti nii originaal kui muutuva geomeetriaga turbokompressor.



Joonis 2.5. Originaal (A) ja muutuva geomeetriaga (B) turbokompressorid

Valitud turbokompressorit on võimalik paigaldada väga väikeste modifikatsioonidega katseautole. Selleks et turbokompressorit oleks võimalik paigaldada, tuli autoril välja vahetada turbokompressori küljes olevad tikkpoldid, mis hoiavad kinni väljalasketoru. Autor pidi ka keerama kompressori poolset koda 1 teise nurga alla, et saaks paigaldada vahejahutisse minev rõhuvoolik, mida pidi autor samuti modifitseerima, kuna voolik jäi liiga lühikeseks. Selleks lõikas autor vooliku pooleks ning ehitas pikendusadapteri, mis ühendati voolikute vahele kahe toruklambri abil. Autor pidi lühendama turbokompressori õli tagasivoolu ning mootori vahelist voolikut. Lisaks tuli eemaldada väljalasketorustiku otsas olev koonus, mis on vajalik originaal turbokompressori jaoks, kuid teisele turbokompressorile pole see vajalik, kuna sellel on koonus turbiini korpuse 2 külge disainitud. Ülejäänud detaile oli võimalik ilma modifitseerimata paigaldada. Vaakumsolenoidi jaoks on vaakum võetud mootori vaakumsüsteemis üle olevast väljundist. Vaakumsolenoidi toide on ühendatud sama rele alla, mis toidab nii pihusteid kui ka veepumpa. Solenoidi juhtiv signaal on ühendatud otse kontrollerrisse. Solenoidi lähedale on paigaldatud ka Schottky diod, mis aitab kaitsta kontrolleri tekkivate induktiivvoolude eest. Pikendusadapteri tehniline joonis on toodud lisas D.

Enne katsetust vaatas autor ka katseauto tehnilise poole üle. Autor teostas katseautole tagumiste pidurite hoolduse, vahetades välja piduriklotsid ning puhastas liugpinnad, selleks et vähendada pidurite takistust mootori efektiivsusparameetrite mõõtmiseks autode katsestendil. Samuti kontrollis autor üle katseauto jahutusvedeliku ning õlitaseme, et vältida nende puudumisel tekkida võivaid probleeme.

2.2. Katsemetoodika väljatöötamine

Autor valis vedelkütuste pritsesüsteemi katsekütusteks kolm erinevat kütust. Üheks neist oli autokauplusest Fixus Mustamäe OÜ ostetud metanooli sisaldav klaasipesuvedelik, mille külmakindluseks oli pakendil märgitud -40°C . Teise katsekütusena kasutas autor 99.9%’ilise metanooli ning vee 50:50 segu ning kolmanda kütusena oli kasutusel vee ja denatureeritud piirituse 50:50 segu.

Mootori efektiivsusparameetreid mõõdeti kasutades Eesti Maaülikoolis olevat autode katsestendi Dynojet 224xLC. Auto veosild paigutati mõõtetrumli keskele ning auto ankurdati põranda külge kasutades koormarihmasid. Mootori pöörete lugemise jaoks kasutati optilist andurit, mis paigaldati põranda külge magneti abil. Pöörete informatsiooni oli vaja mootori väändemomendi arvutamise jaoks. Seejärel enne mõõtmisi kiirendati rahulikult neljanda käiguni ning teostati jõumõõtmised kiiruste 40 kuni 170 km/h vahel. Iga juhtumi kohta teostati vähemalt neli korralikku mõõtmist, kus saadi kätte kõik tulemused andmete analüüsiks. Katsestendi mõõtmistulemused avati programmiga WinPEP 7, mille abil eksporditi andmed Exceli, kus autor töötles andmeid. Kahe erineva turbokompressoriga uuriti nelja juhtumit.

Juhtumid mida uuriti olid:

- Originaal turbokompressor ilma pritsesüsteemita
- Originaal turbokompressor koos klaasipesuvedeliku pritsesüsteemiga
- Originaal turbokompressor koos vesi-etanool pritsesüsteemiga

- Originaal turbokompressor koos vesi-metanool pritsesüsteemiga
- VNT turbokompressor ilma pritsesüsteemita
- VNT turbokompressor koos klaasipesuvedeliku pritsesüsteemiga
- VNT turbokompressor koos vesi-etanool pritsesüsteemiga
- VNT turbokompressor koos vesi-metanool pritsesüsteemiga

Heitgaaside emissioonide uurimiseks kasutas autor heitgaaside analüsaatorit Bosch BEA 350. Heitgaaside uurimisel kasutati samu juhtumeid, mida efektiivsusparameetrite mõõtmisel. Heitgaaside uurimist teostati kolme erineva mootori pöörlemiskiiruse juures: tühikäigul, pöörlemissagedusel 2000 RPM ning pöörlemissagedusel 3500 RPM. Iga pöörlemisesageduse juures teostati neli mõõtmist 5 sekundilise vahega peale 10 sekundilist stabiliseerumist. Iga juhtumi mõõtmise vahel kalibreeriti seade puhtas õhus. Kõik saadud mõõtmistulemused sisestati tabelitöötlusprogrammi Excel ning leiti iga mõõtmisoleku kohta keskmised tulemused, mis on välja toodud lisas F tabelitena.

2.3. Katseseadmete kirjeldus

2.3.1. Auto

Vesi-metanool pritsesüsteemi ning erinevate turbokompressorite mõju uurimiseks valis autor sõiduauto BMW E34 525tds väljalaskeaastaga 1995. Mootori töömahuks on 2.5 liitrit, neljataktiline, gaasijaotussüsteemiga OHC. Tabelis 2.1 on toodud mootori tehnilised andmed.

Tabel 2.1. BMW 525tds tehnilised andmed [17]

Nimetus	Ühik	Väärtus
Mootori maht	cm ³	2498
Maksimaalne võimsus	kW	105
Maksimaalne võimsus pöörlemissagedusel	min ⁻¹	4800
Maksimaalne pöördemoment	Nm	260
Maksimaalne pöördemoment pöörlemissagedusel	min ⁻¹	2200
Kolvi läbimõõt	mm	80
Kolvi käik	mm	82.8
Surveaste	-	22:1
Silindrite arv	-	6
Klappide arv silindri kohta	-	2
Toitesüsteem	-	Eelpõlemiskambritega kaudne sissepritse
Mootori asetus	-	Ees, ristipidi

2.3.2. Dynojet 224xLC

Mootori efektiivsusparameetrite mõõtmiseks kasutas töö autor autode katsestendi Dynojet 224xLC. Selle katsestendiga on võimalik mõõta maksimaalse võimsusena 2000 hobujõudu ning pöördemomenti kuni 2700 Nm. Katsestendil on üks trummel läbimõõduga 61 cm ning laiusega 205 cm. Katsestend vajab töötamiseks 6,9 bar suruõhku ning ligipääsu 230 voldisele võrgupingele. Trumli kiiruse täpsuseks on lubatud +/- 1/100 MPH ning aja täpsuseks on +/- 1µs. Pöörete lugemise täpsuseks on +/- 1/10 pööret. [18] Mõõtmistulemuste kuvamiseks kasutas autor Dynojet enda programmi WinPEP 7, mille abil eksporditi mõõtmiste andmed Exceli edasiseks töötlemiseks.

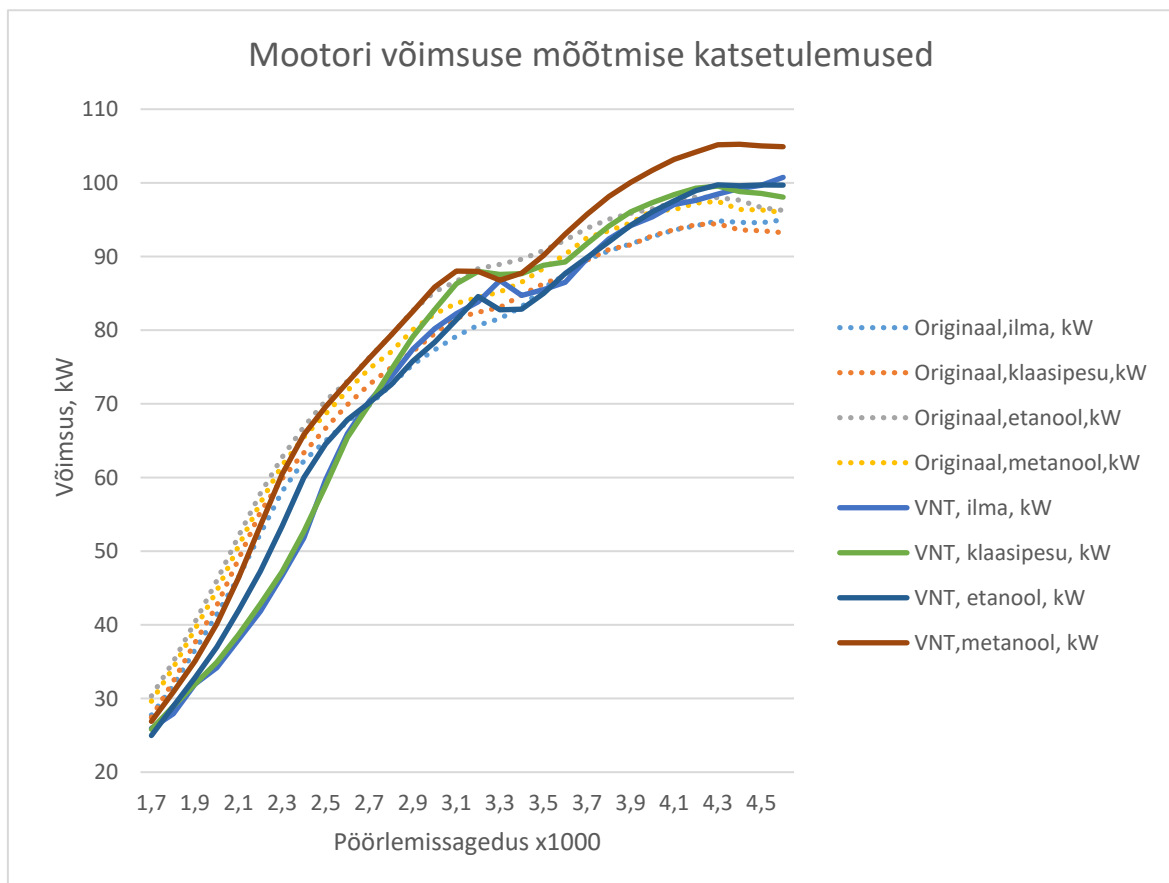
2.3.3. Bosch BEA 350

Mootori heitgaaside emissioonide mõõtmiseks kasutas autor heitgaaside analüsaatorit Bosch BEA 350. Seadmega on võimalik mõõta nii diisel- kui ka bensiinimootori heitgaase. Seadmega on võimalik mõõta CO, HC, NO_x, O₂, CO₂ sisaldust ning ka heitgaaside tahmasust. Seadme suuruseks on 750 x 1770 x 700 mm. Seade kaalub 67 kg ning omab IP kaitseastet IP30. Tahmasuse mõõtja kaalub 7kg ning omab IP kaitseastet IP33. Seade on täpne temperatuurivahemikus +5 °C – +40 °C ning töövõimeline +5 °C – +45 °C vahemikus. Seadet võib hoiustada temperatuurivahemikus -25 °C – +60 °C. Seade vajab toiteks 230V pingega vahelduvvoolu. Seadmel on olemas ka juhtmevaba pult.[19]

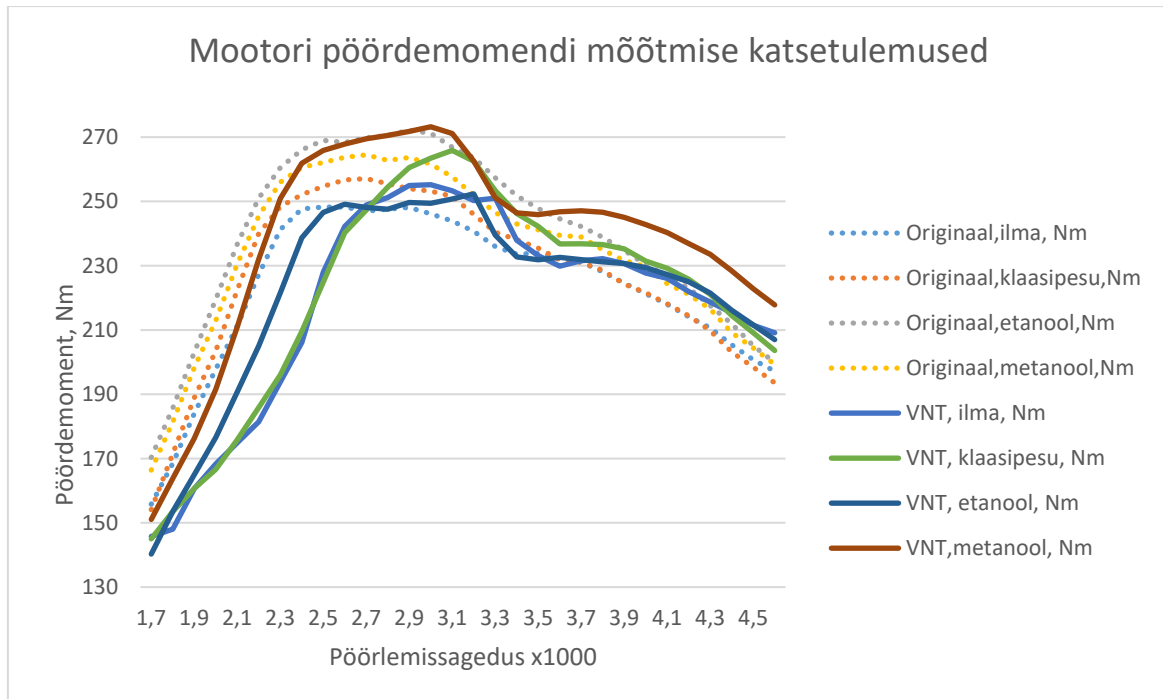
3. KATSEANDMETE ESITLUS JA ANALÜÜS

3.1. Efektiivsusparameetrite tulemused ja analüüs

Töö autor kasutas tarkvara WinPEP 7 autode katsestendilt Dynojet 224xLC saadud andmete esialgseks kuvamiseks ning eksportimiseks Exceli, kus toimus andmete töötlemine. Töö autor leidis iga juhtumi kohta keskmise tulemuse ning koostas kaks graafikut, millest ühel kuvatud mootori võimsus ning teisel mootori väändemoment. Graafikud toodud joonisel 3.1 ja joonisel 3.2.



Joonis 3.1. Võimsusnäitajate graafik sõltuvuses mootori pöörlemissagedusest.

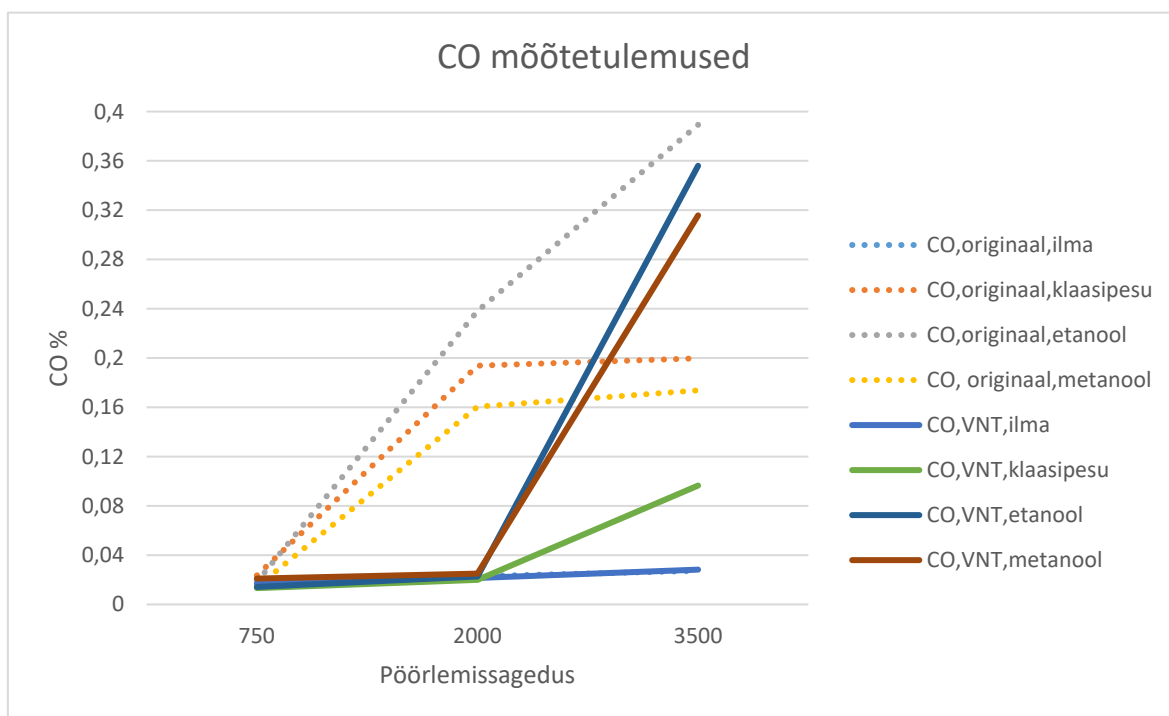


Joonis 3.2. Väändemomendi graafik sõltuvuses mootori pöörlemissagedusest.

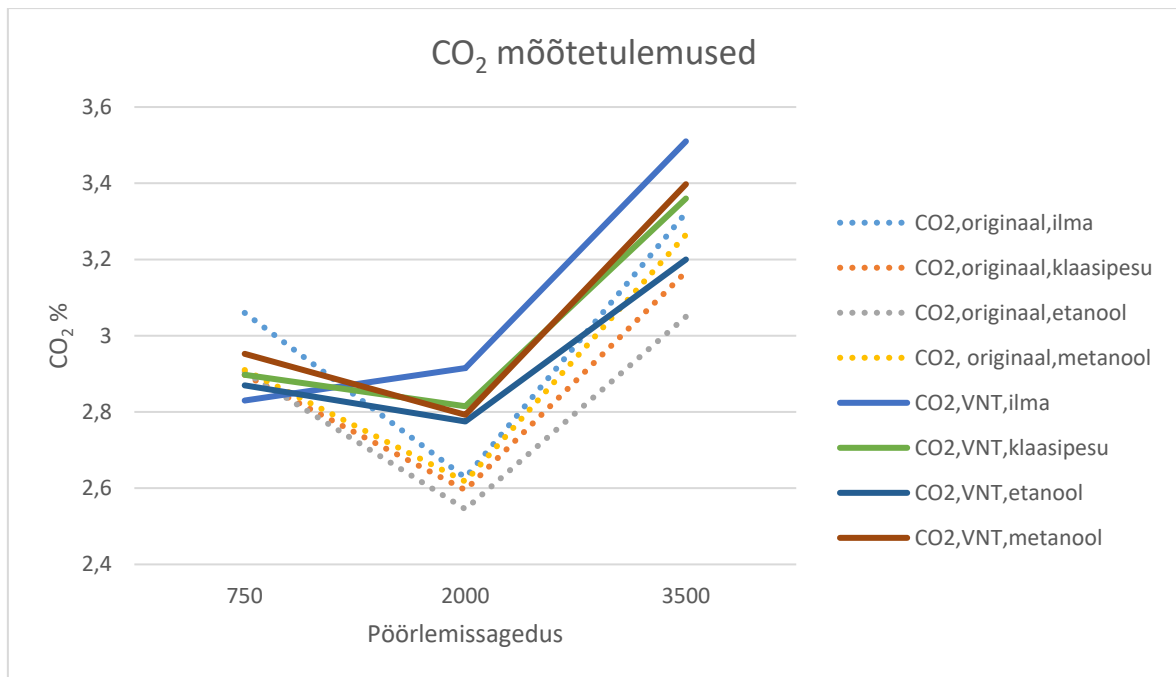
Kõige suurem keskmine võimsus oli kasutades muutuva geomeetriaga turbokompressorit koos vesi-metanool kütuseseguga, siis saadi tulemuseks 105,24 kW veoratastest mõõdetuna. Sama turbokompressori ning lisakütuse kombinatsiooniga saadi ka kõige suurem mõõtmistulemus, milleks oli 106,49 kW veoratastest. Kõige vähem jõudu tootis mootor kasutades originaal turbokompressorit ning klaasipesuvedelikku lisakütusena, siis saadi keskmiseks tulemuseks 93,83 kW veoratastest mõõdetuna. Pöördemomendi puhul oli kõige suuremaks keskmiseks tulemuseks 273,23 Nm, mis saadi kasutades muutuva geomeetriaga turbokompressorit koos vesi-metanool pritsesüsteemiga. Kõige suurem pöördemomendi väärtus mõõtmisel saadi kasutades originaal turbokompressorit koos vesi-etanool kütuseseguga, siis saadi tulemuseks 275,34 Nm veoratastest. Kõige väiksem keskmine väändemoment tuli kasutades originaal turbokompressorit ilma lisakütuseta, siis saadi tulemuseks 248,26 Nm veoratastest. Kui arvestada, et ülekandesse kaob umbes 15% väljundvõimsusest ning väändemomendist ning tehase poolt antud numbrid on mõõdetud mootorist mitte veoratastest, siis peale 23 aastat tööd on mootoril alles $93,83 + 15\% = 107,9$ kW, mis on rohkem kui tootjapoolne lubatud 105 kW. Samuti pöördemomendil puhul $248,26 + 15\% = 285,49$ Nm mis on samuti rohkem kui tootja poolne lubatud 260 Nm.

3.2. Heitgaaside emissioonide tulemused ja analüüs

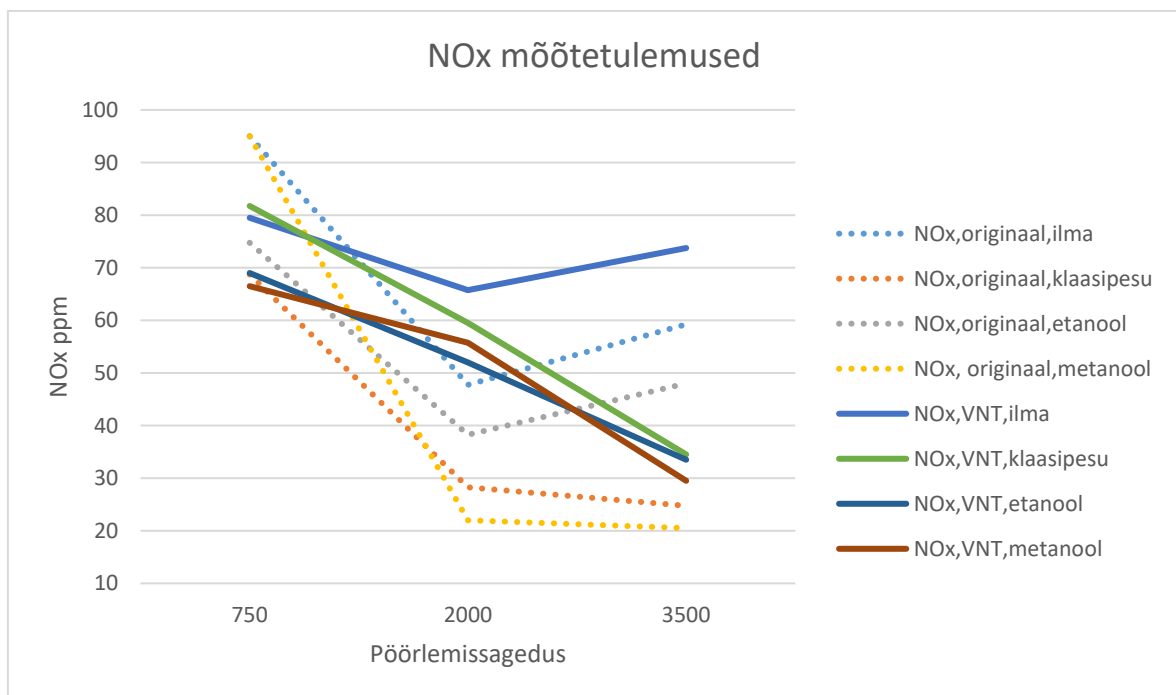
Mootori heitgaaside emissioone mõõdeti kasutades Bosch DEA 350 heitgaasianalüsaatorit. Heitgaaside mõõtmisel kasutati samu juhtumeid, mida võimsusparameetrite mõõtmisel. Järgnevatel graafikutel on välja toodud mõõtmistulemuste keskmised iga juhtumi kohta.



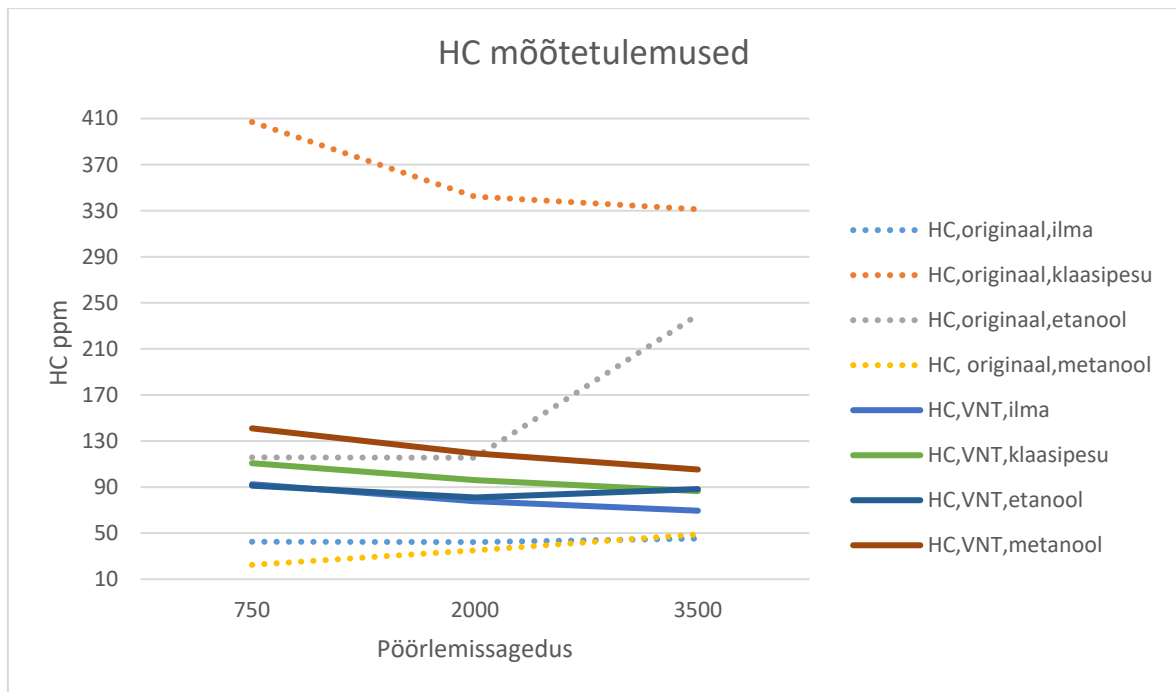
Joonis 3.4. CO mõõtetulemused.



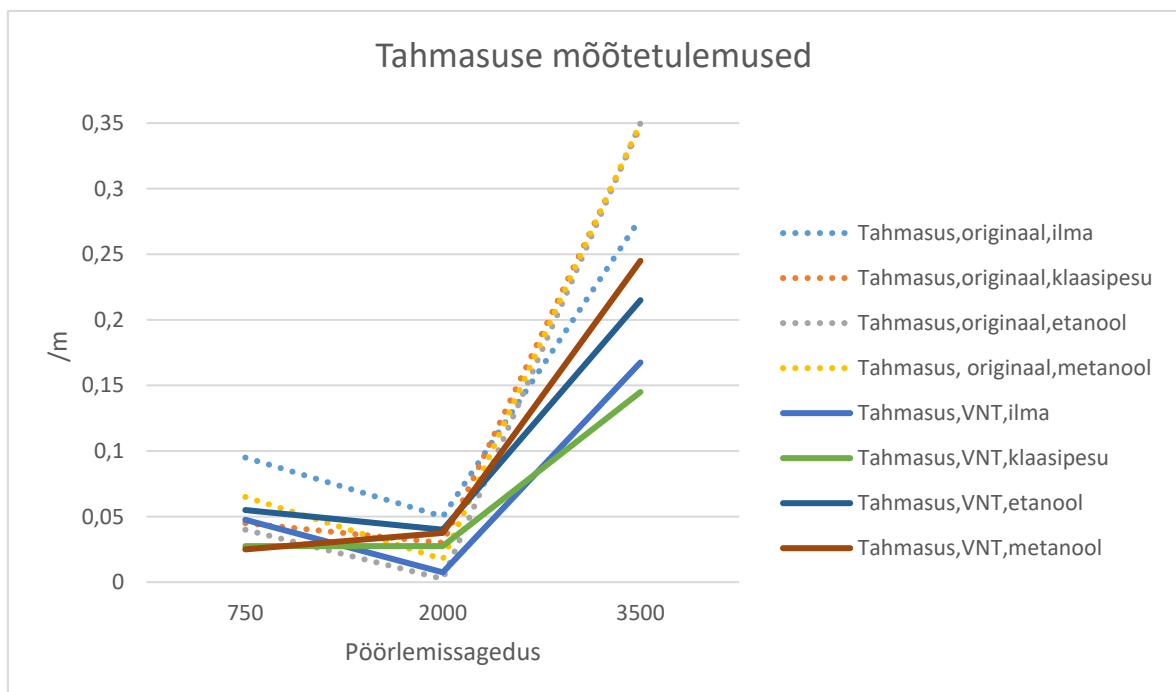
Joonis 3.5. CO₂ mõõdetulemused.



Joonis 3.6. NO_x mõõdetulemused.



Joonis 3.7. HC mõõtetulemused



Joonis 3.8. Tahmasuse mõõtetulemused.

Tulemustest järeldub, et CO väärtus on kõige väiksem kogu mõõtevahemikus, kui kasutada originaal või muutuva geomeetriaga turbokompressorit ilma ühegi lisakütuseta. Samuti on tulemustest näha, et muutuva geomeetriaga turbokompressori kasutamisel mootori pöörlemissagedusel 2000 ei rakendunud lisatoitesüsteem, sest tulemused on samad, kui lisapritsesüsteem oli välja lülitatud. CO₂ väärtused heitgaasis olid väiksemad, kui kasutati originaalset turbokompressorit. Samuti on tulemustest näha, et CO₂ sisaldus vähenes kõige rohkem, kui kasutati vee ja etanooli segu katsekütusena. Lämmastikoksiidide (NO_x) mõõtetulemustest on näha, et kui mootori pöörlemiskiirus tõsta 3500 pöördeni, siis ilma lisakütuseta lämmastikoksiidide sisaldus heitgaasides tõuseb. Samuti on NO_x sisalduse tõusu märgata kasutades originaal turbokompressorit ning etanool katsekütust, kuid mitte muutuva geomeetriaga turbokompressori puhul. Kõige rohkem vähendab NO_x sisaldust metanooli sisaldavate katsekütuste kasutamine nii originaal kui ka muutuva geomeetriaga turbokompressorite puhul. Süsivesinike (HC) mõõtmistulemustest on näha, et originaal turbokompressori ning klaasipesu katsekütuse mõõtmisel on tulemused tühikäigul võrreldes ilma katsekütuseta originaal turbokompressoriga pea 10 korda suuremad, seega autor kahtlustab, et antud mõõtmine on andnud valesid süsivesinike mõõtetulemusi ning seda tuleks veel edasi uurida. Samuti on tulemustest märgata, et ilma lisapritsesüsteemita on HC sisaldus heitgaasides väiksem. Veel on märgata, et kui kasutada etanooli ja vee segu katsekütusena, siis HC sisaldus kasvab rohkem kui metanooli sisaldavate katsekütuste puhul. Tahmasuse mõõtetulemustest on näha, et kui kasutada originaal turbokompressorit, siis mootori pöörlemissagedusel 3500 pööret minutis on heitgaasides kõige rohkem tahma olenemata katsekütusest või selle puudumisest. Kõige vähem tahma 3500 pöörde juures eritas muutuva geomeetriaga turbokompressor kasutades lisakütusena klaasipesuvedelikku. Pöörlemissagedusel 2000 pööret minutis tootis kõige vähem tahma originaal turbokompressor kasutades vesi-etanool katsekütust. Kõige suurem tahmasus 2000 pöörde juures oli originaal turbokompressori puhul ilma katsekütuseta.

3.3. Hinnang välja töötatud süsteemile

Töö autor leiab, et välja töötatud süsteem on alles arendusjärgus, kuid võimeline oma ülesannet täitma ning vajab edasi arendamist. Kontroller töötab hetkeseisul minimaalsel võimekusel, s.t. kasutab ainult *MAP* ning *TPS* väärtust pritsesüsteemi ning muutuva geomeetria juhtimiseks. Täpsema juhtimisloogika jaoks on vaja tööle saada mootori pöörete ning auto kiiruse lugemine ning lisavõimekuse ning –ohutuse jaoks temperatuuride lugemine. Vedelkütuse pritsesüsteem on autori arvates peale vedelkütuse paagi täielikult välja töötatud. Kanistri asemele tuleks konstrueerida sobiv paak, mis omaks väljundit pumba jaoks ning sisendit tagasivoolu jaoks. Samuti peaks olema paak suletud ning täitmiseks peaks olema korgiga ava. Turbokompressorite vahetamine õnnestus autori arvates täielikult, sest mõlemat turbokompressorit on võimalik jätkuvalt edasi kasutada. Töö autor katsetulemusi vaadates leiab, et loodud süsteemil on mõju diiselmootori efektiivsusparameetritele ning heitgaaside emissioonidele.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli uurida erinevate turbokompressorite mõju vesi-metanool pritsesüsteemiga varustatud diiselmootori efektiivsusparameetritele ning heitgaaside emissioonidele. Töö autor täitis eesmärgi, sest uuris kahe erineva juhtimistüübiga turbokompressori mõju vesi-metanool pritsesüsteemiga varustatud diiselmootori võimsusparameetritele ning heitgaaside emissioonidele.

Lõputöö läbiviimiseks valiti katsevahendiks sõiduauto BMW E34 525tds, millele konstrueeriti ning paigaldati vedelkütuste pritsesüsteem. Samuti valmistati autole paigaldamiseks ette muutuva geomeetriaga turbokompressor, mis töö käigus ka paigaldati. Pritsesüsteemi ning muutuva geomeetria juhtimiseks valmistas autor kontrolleri ning kirjutas sellele koodi.

Vesi-metanool pritsesüsteemiga pihustati mootori sisselaskesse kolme erinevat katsekütust, millest kaks sisaldasid metanooli ning üks etanooli. Katsete tulemusi analüüsiti ning tulemuseks saadi:

1. Kasutades muutuva geomeetriaga turbokompressorit koos vesi-metanool pritsesüsteemiga, kasvasid mootori võimsus ning väändemoment.
2. Katseautol on peale 23 aastat kasutamist alles vähemalt sama palju jõudu kui tootja autot müües lubas.
3. CO sisaldus kasvas heitgaasides, kui kasutati lisatoitesüsteemi.
4. CO₂ sisaldus oli suurem heitgaasides, kui ei kasutatud lisatoitesüsteemi.
5. CO₂ sisaldus vähenes kõige rohkem, kui kasutati vee ja etanooli segu.
6. NO_x sisaldus vähenes kõige rohkem, kui kasutati metanooli sisalduvaid katsekütuseid.
7. HC sisaldus heitgaasides suurenes, kui kasutati lisatoitesüsteemi, eriti etanooli ja vee segu puhul.
8. Heitgaaside tahmasus oli suurem, kui kasutati originaal turbokompressorit.

Vedelkütuste pritsesüsteemil on mõju diiselmootori heitgaaside emissioonidele ning samuti mõjutab emissioone muutuva geomeetriaga turbokompressori kasutamine. Tulevikus võiks uurida vedelkütuste ja erinevate turbokompressorite mõju uuemat tüüpi diiselmootorite heitgaaside emissioonidele ning efektiivsusparameetritele. Samuti võiks uurida eelnevate koosmõju koos mootori juhtaju ümberseadistusega. Probleemile, mis autor püstitas vanemate diiselmootorite heitgaaside emissioonide kohta, otsest ja lõpliku lahendust ei leitud, kuid saadi piisvalt andmeid, mille põhjal edasisi samme planeerida ja ellu viia.

KASUTATUD KIRJANDUS

- 1 **Hotten R.**(2015). Volkswagen: The scandal explained. -*BBC* [on-line] <http://www.bbc.com/news/business-34324772> (16.05.2018)
- 2 **Armstrong L.V.H. ,Proctor C.L.** (1999) Diesel engine - *Britannica*, <https://www.britannica.com/technology/diesel-engine> (16.05.2018)
- 3 **Arena F. ,Spera D. ,Hoppe W.D. ,Suzuki H. Kirstetter E.** (2016) The future of diesel engines.- *Arthur D. Little Services* [on-line] <http://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/future-diesel-engines> (16.05.2018)
- 4 48V Eco Drive. - *Continental AG.* [veebileht] <https://www.continental-corporation.com/en/products-and-innovation/innovation/electric-mobility/48volt-eco-drive-115580> (16.05.2018)
- 5 **Krok A.** (2018) Volkswagen unveils its first diesel mild hybrid. [veebileht] <https://www.cnet.com/roadshow/news/vw-ea288-evo-first-diesel-mild-hybrid/> (16.05.2018)
- 6 **Smith L.J.** (2018) End of diesel? Fuel could be doomed as German cities ban paves way for Europe. -*Express.* [e-ajaleht] <https://www.express.co.uk/life-style/cars/925353/Germany-diesel-ban-fuel-Europe-cars> (16.05.2018)
- 7 **Beale C.** (2017) European cities announce bans on petrol and diesel cars as green initiative spreads across continent -*Independent.* [e-ajaleht] <https://www.independent.co.uk/news/world/paris-copenhagen-oxford-ban-petrol-diesel-cars-emissions-pollution-nitrogen-dioxide-a8000596.html> (16.05.2018)
- 8 Turbocharger. -*Wikipedia.* [on-line]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbocharger> (16.05.2018)
- 9 Turbokompressorite areng. -*Eesti Lennuakadeemia.* [on-line]. http://www.eava.ee/opiobjektid/mkl/ehitus08/7_turbokompressorite_areng.html (16.05.2018)
- 10 Supercharger. -*Wikipedia.* [on-line]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Supercharger> (16.05.2018)

- 11 **Cervenka C.** (2017) SUPERCHARGERS VS TURBOS: A BEGINNER'S GUIDE-*CJPonyParts*. [koduleht]. <https://www.cjponyparts.com/resources/mustang-superchargers-vs-turbos> (16.05.2018)

- 12 Dual Fuel systems: Diesel + Natural Gas. –*Landireenzo*. [veebileht] <https://landireenzo.com/en/cng-system-diesel-vehicles> (16.05.2018)

- 13 LPG/CNG Conversion – Diesel Vehicles. – *Crdperformance*. [veebileht] <http://www.crdperformance.com/lpg/lpg-cng-diesel-vehicles/> (16.05.2018)

- 14 **Westfall C.** (2014). How It Works: Water Methanol Injection. –*Dieselarmy*. [veebileht] <http://www.dieselarmy.com/engine-tech/how-it-works/how-it-works-water-methanol-injection/> (16.05.2018)

- 15 **Ma X., Zhang F., Han K. Zhu Z., Liu Y.** (2014) Effects of Intake Manifold Water Injection on Combustion and Emissions of Diesel Engine.–*Energy Procedia*. Volume 61 [e-ajakiri] <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.963> (16.05.2018)

- 16 VR Conditioner. –*Speeduino*. [veebileht]. https://speeduino.com/wiki/index.php/VR_conditioner (16.05.2018)

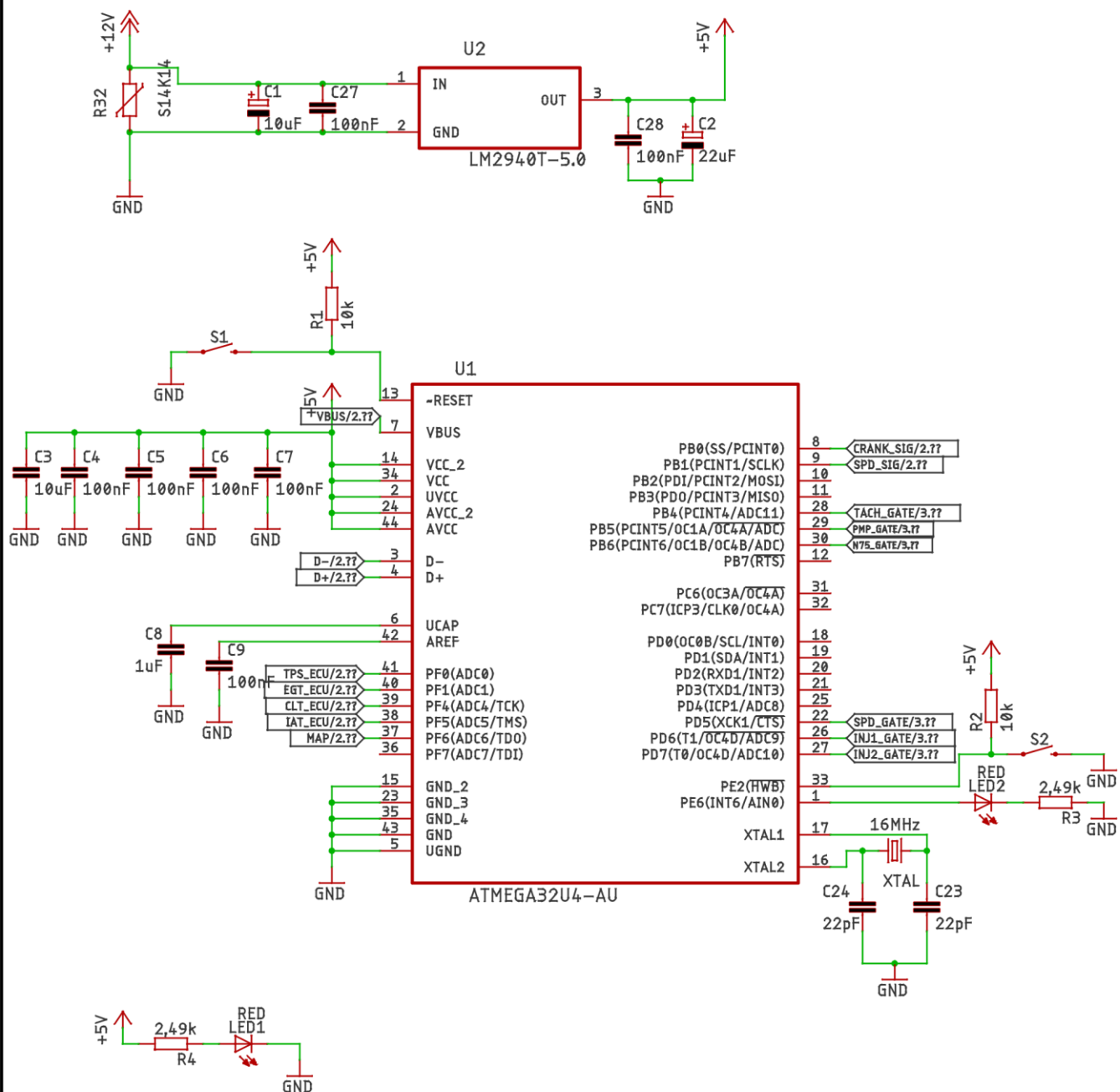
- 17 BMW E34 5 Series 525 tds Specs. –*ultimateSPECS*. [veebileht] <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/BMW/171/BMW-E34-5-Series-525-tds.html> (16.05.2018)


- 18 Dynojet 224xLC. –*Dynojet*. [koduleht] <http://www.dynojet.com/products/dynamometers/DynoModel224xLC/dynojet-dynamometer-224xlc.aspx> (16.05.2018)

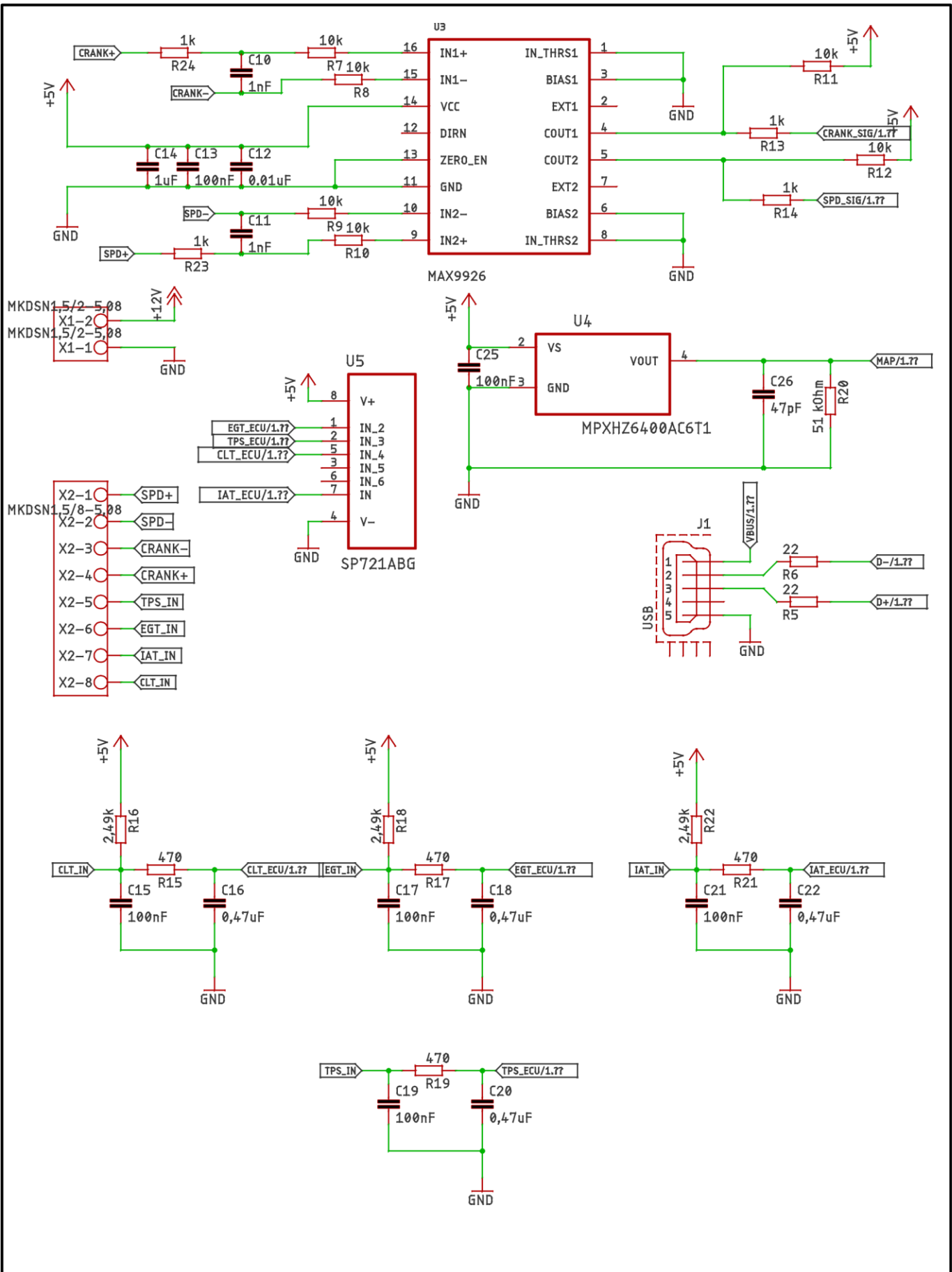
- 19 Bosch BEA 350. –*Bosch*. [koduleht] https://uk-ww.bosch-automotive.com/en_GB/products_workshopworld/testing_equipment_products/emissions_analysis/bea_6/bea_5 (16.05.2018)


LISAD

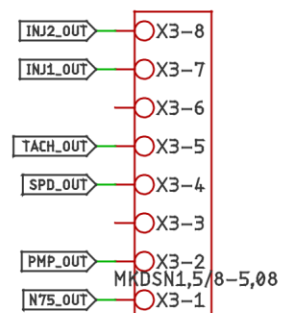
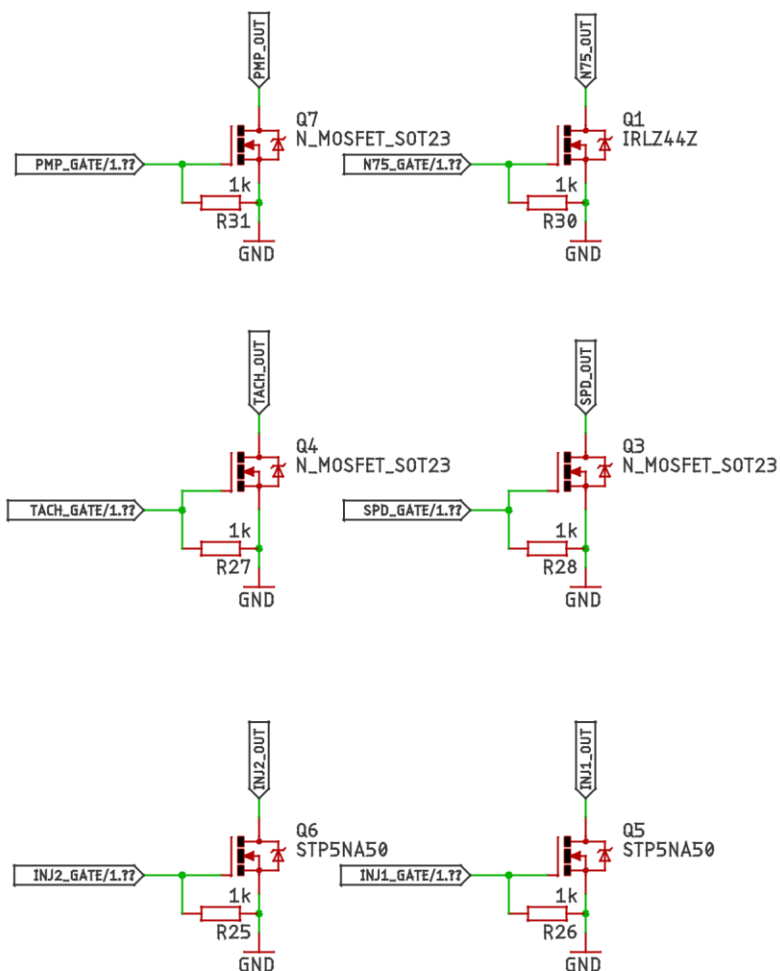
Lisa A.




Teostas	Sander Nahk	Nimetus: VGT+WMI Kontroller elektroonikaskeem
Kontrollis	Risto Ilves	
Kinnitas	Risto Ilves	
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 1/3
		Tähis: TN 18/140438 A 01 01 S

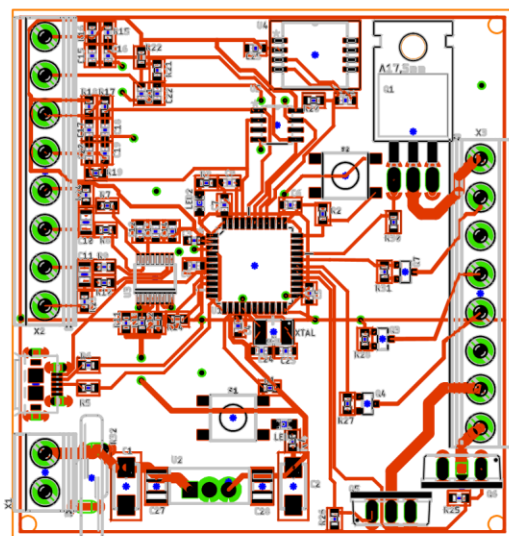



Teostas	Sander Nahk	Nimetus: VGT+WMI Kontroller elektroonikaskem
Kontrollis	Risto Ilves	
Kinnitas	Risto Ilves	
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 2/3 Tähis: TN 18/140438 A 01 02 S

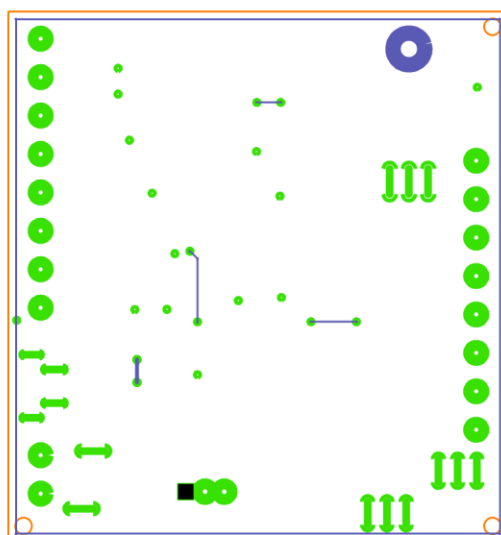


Teostas	Sander Nahk	Nimetus: VGT+WMI Kontroller elektroonikaskeem
Kontrollis	Risto Ilves	
Kinnitas	Risto Ilves	
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 3/3 Tähis: TN 18/140438 A 01 03 S

Lisa B

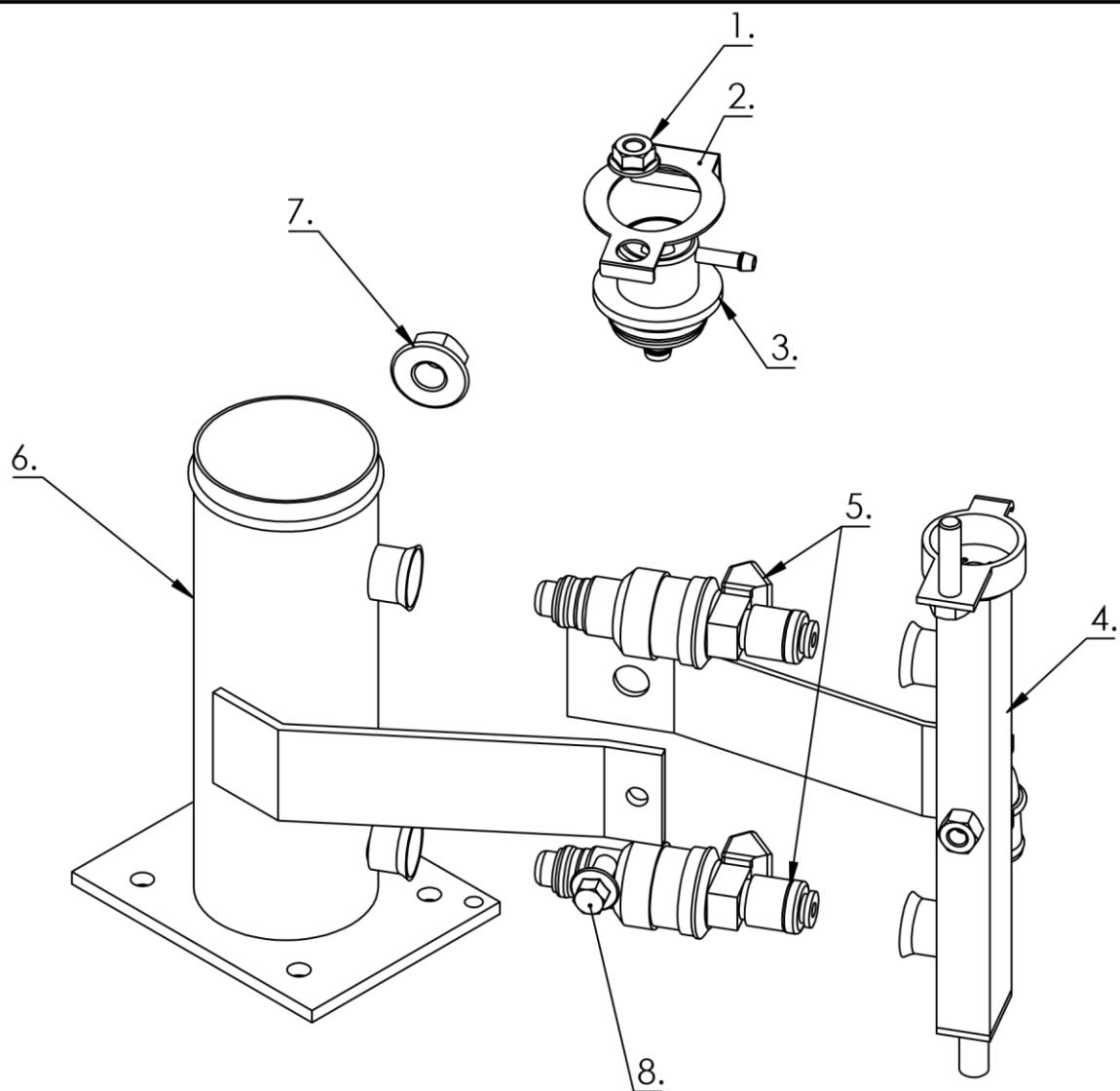


	Materjal:	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: VGT+WMI Kontroller trükkplaat pealmine kiht		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 1/2	Tähis: TN 18/140438 B 01 01 S	



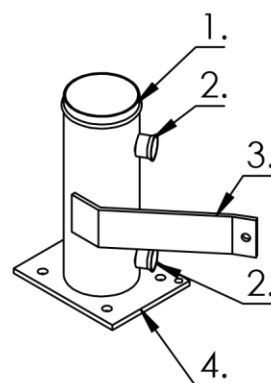
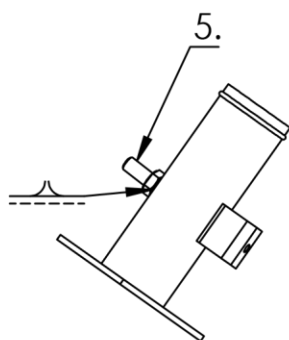
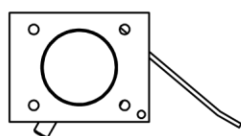
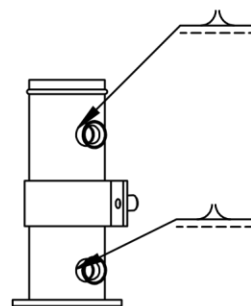
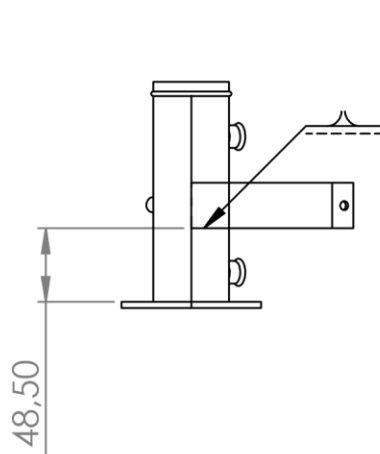
	Materjal:	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: VGT+WMI Konroller Trükkplaat alumine kiht		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
		Leht: 2/2	Tähis: TN 18/140438 B 01 02 S	

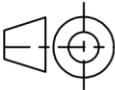

Lisa C

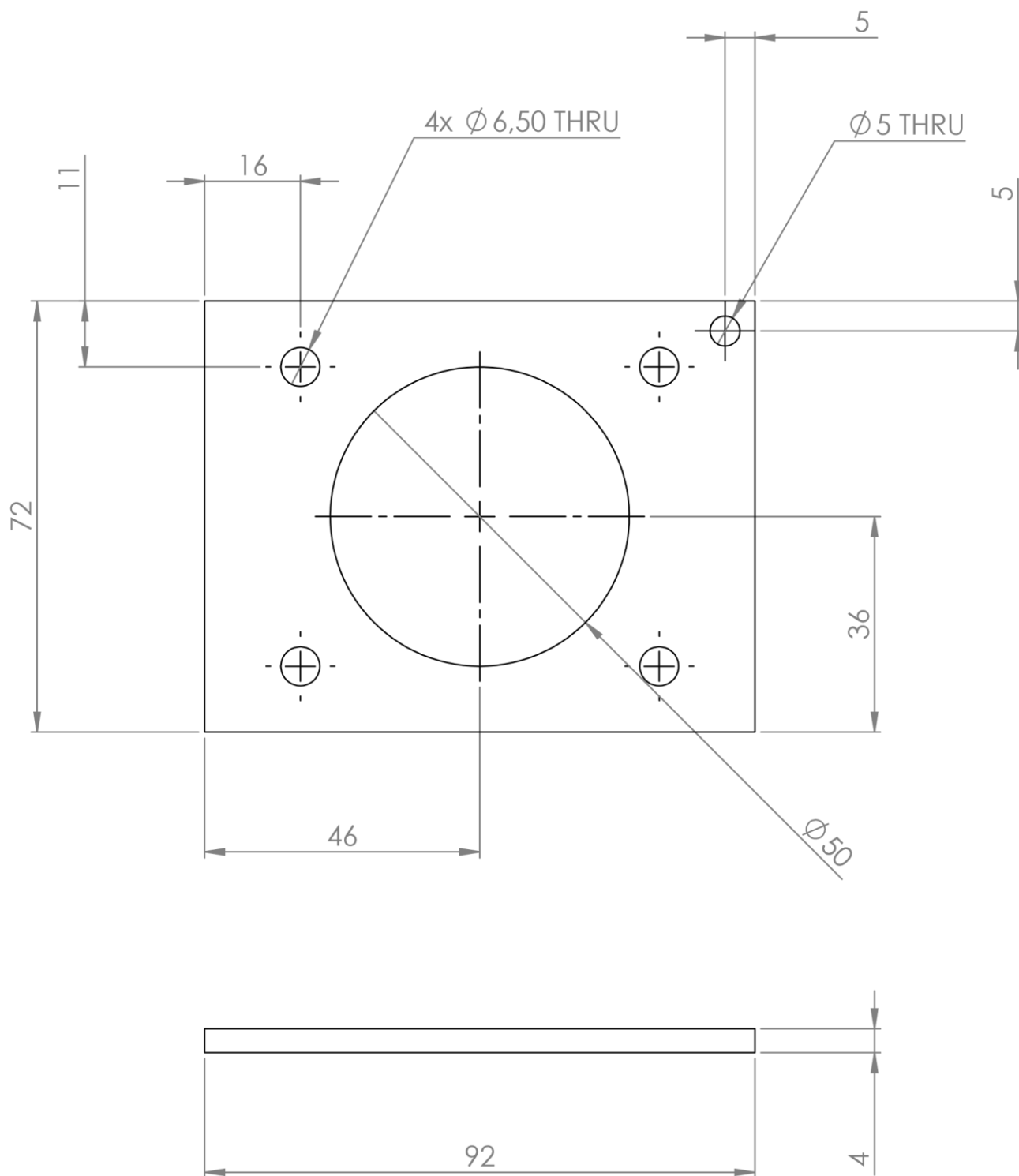


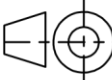

1.	M6 Mutter ISO 4161	1	
2.	Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati rõhuregulaator kinnitus	1	
3.	Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati rõhuregulaator	1	
4.	Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselatt	1	
5.	Pihusti Bosch 0280150431	2	
6.	Vedelkütuse pritsesüsteemi kollektor	1	
7.	M10 Mutter ISO 4161	1	
8.	M6 x12 Polt ISO 4162	1	

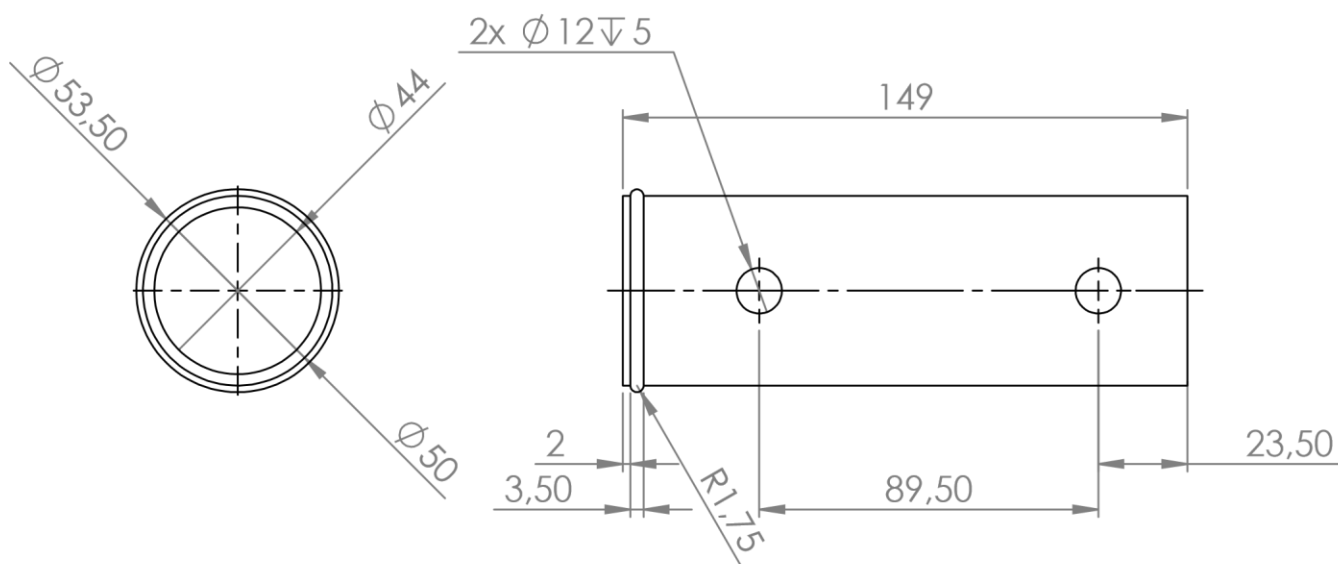
Tähis	Nimetus		Hulk	Märkus
	Materjal:	Näitamata piirhälbed	Mass:	Möödt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi koostejoonis		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 1/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 01 K	



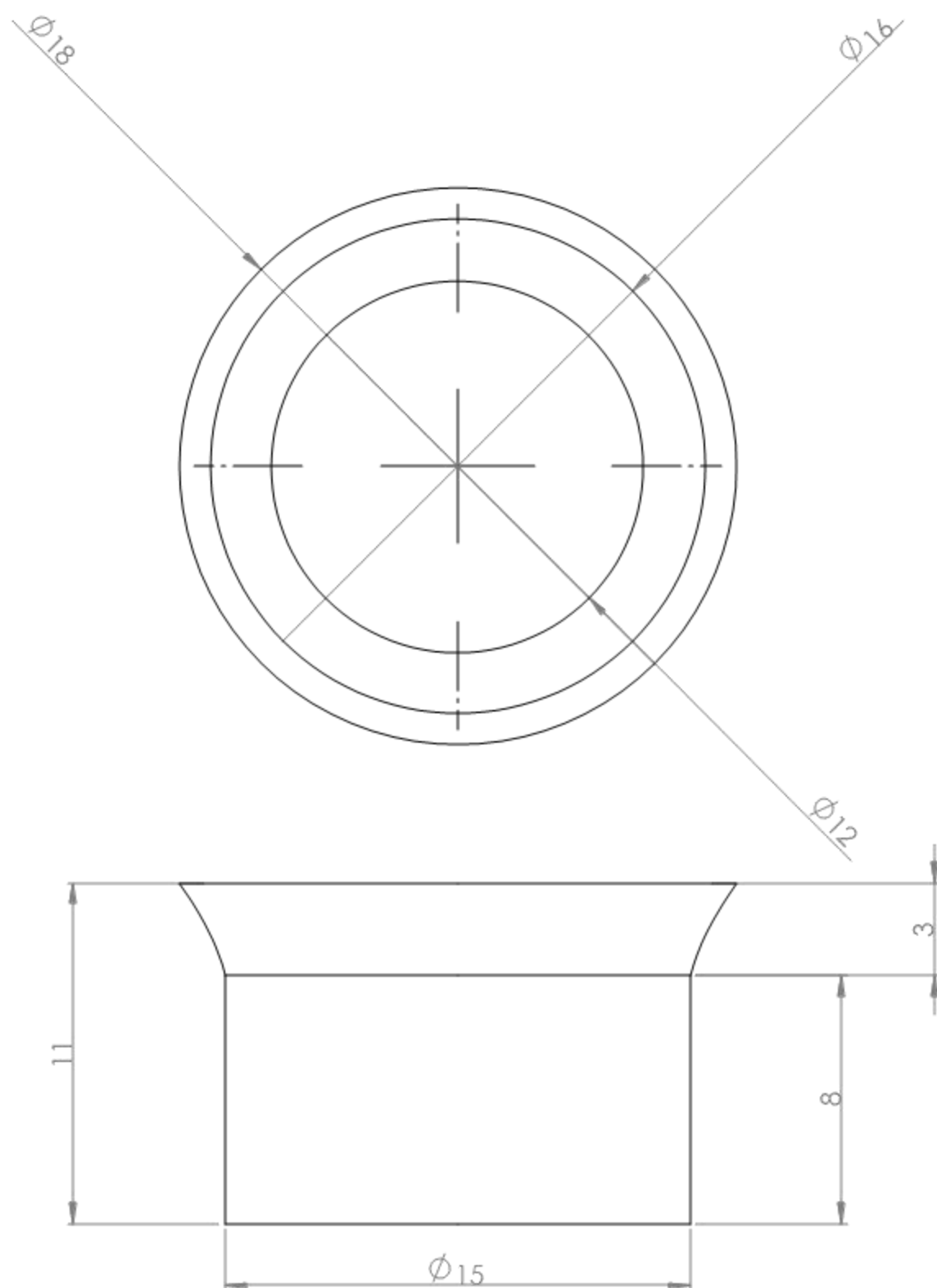
1.	Vedelkütuse pritsesüsteemi kollektori toru	1		
2.	Vedelkütte pritsesüsteemi pihusti adapter	2		
3.	Vedelkütte pritsesüsteemi kollektori kinnitus	1		
4.	Vedelkütte pritsesüsteemi kollektori põhi	1		
5.	M10 x20 Polt ISO 4017	1		
Tähis	Nimetus		Hulk	Märkus
	Materjal:	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mööt: 1:5
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kollektori koostejoonis		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 2/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 02 K	



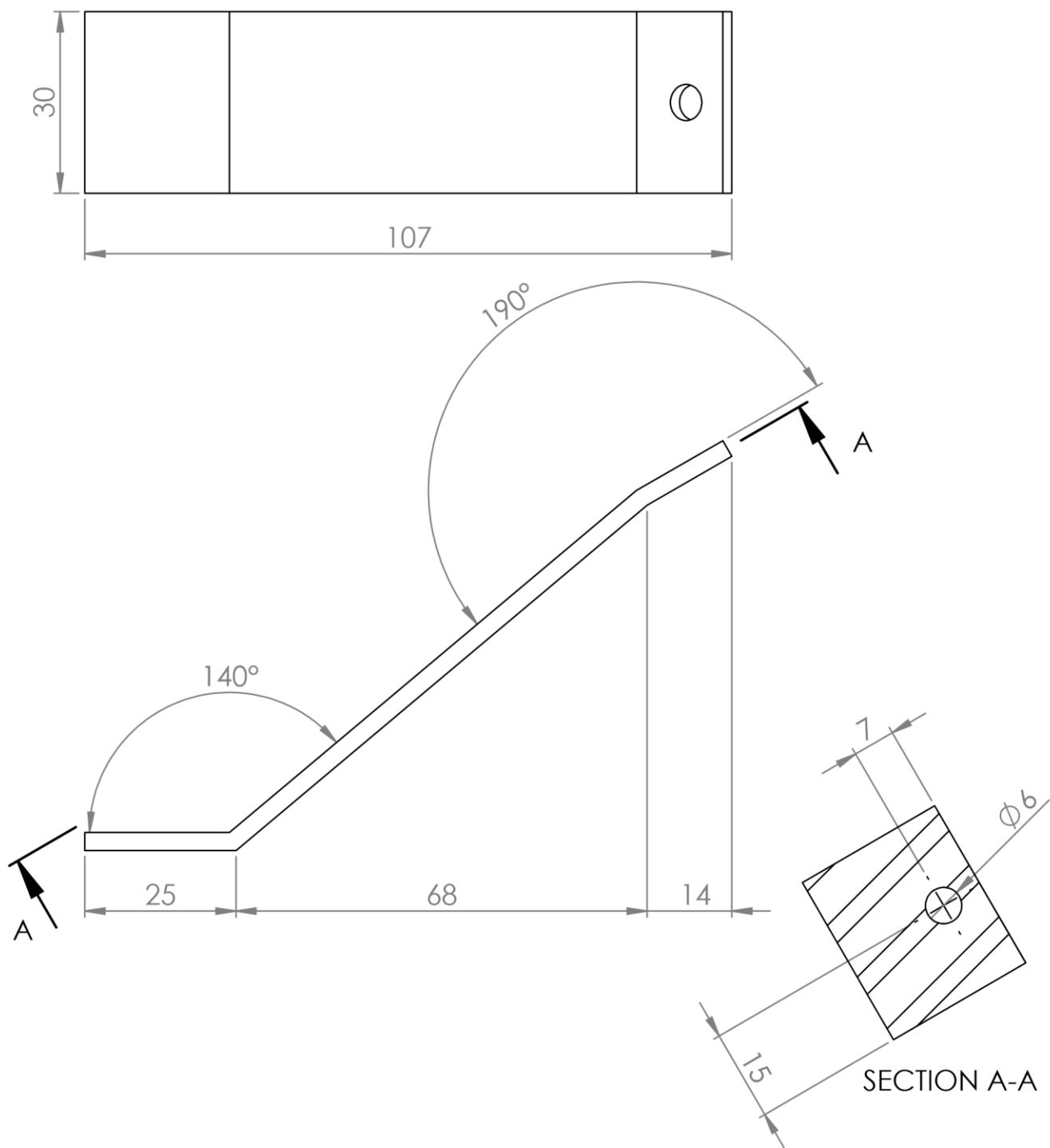
	Materjal:Teras	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kollektori põhi		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 3/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 03 D	





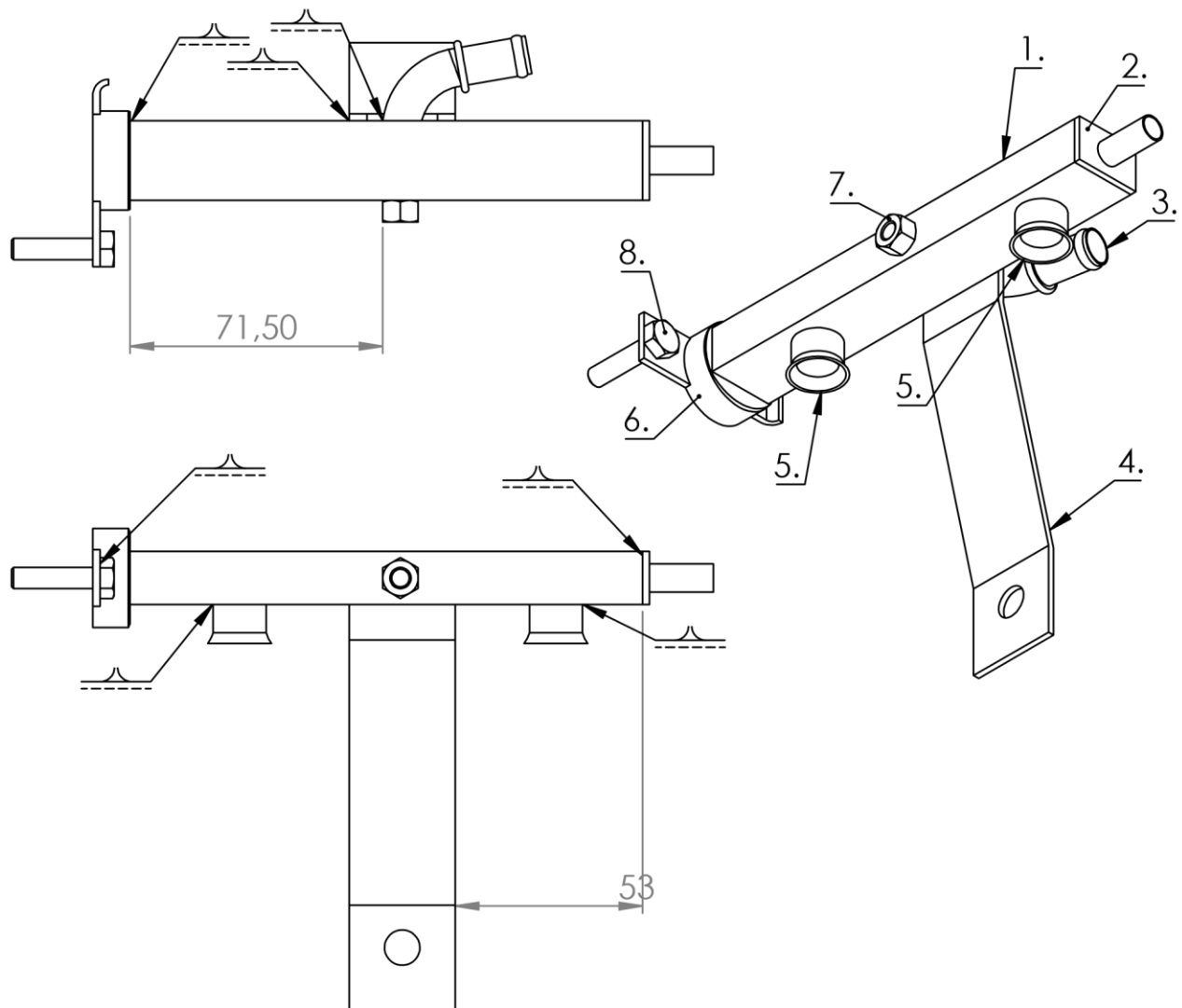
	Materjal:Teras	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kollektori toru		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
		Leht: 4/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 04 D	



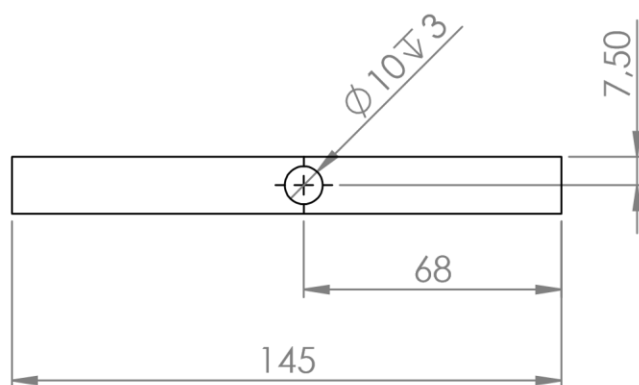
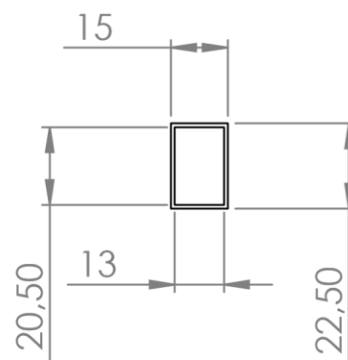
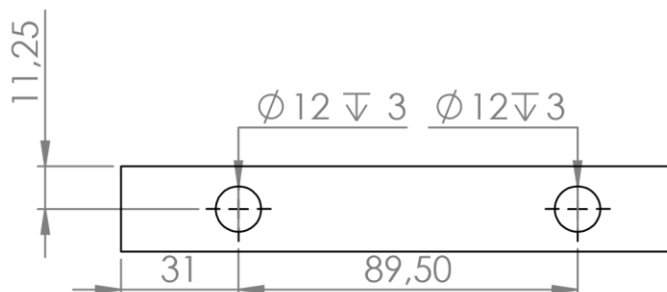
	Materjal:Teras	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Möödt: 5:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi pihusti adapter		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 5/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 05 D	

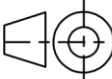



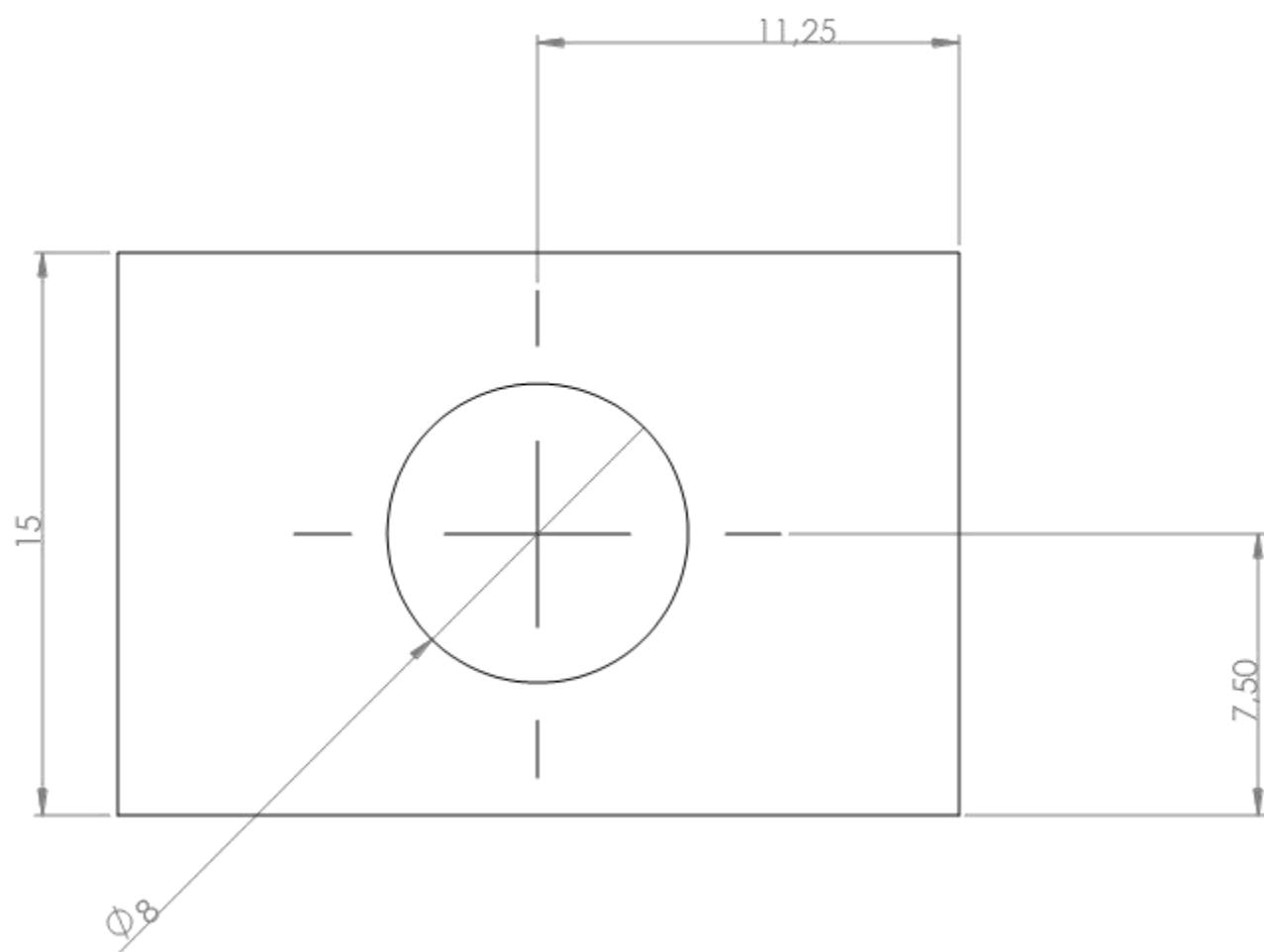
	Materjal: Teras	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 1:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pütsesüsteemi kollektori kinnitus		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 6/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 06 D	



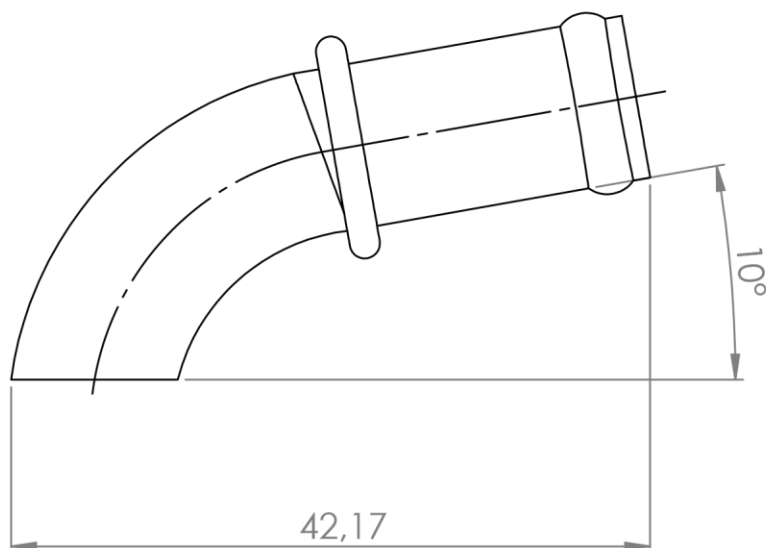
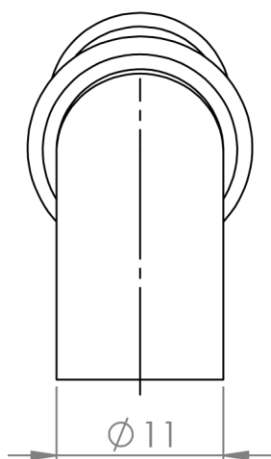
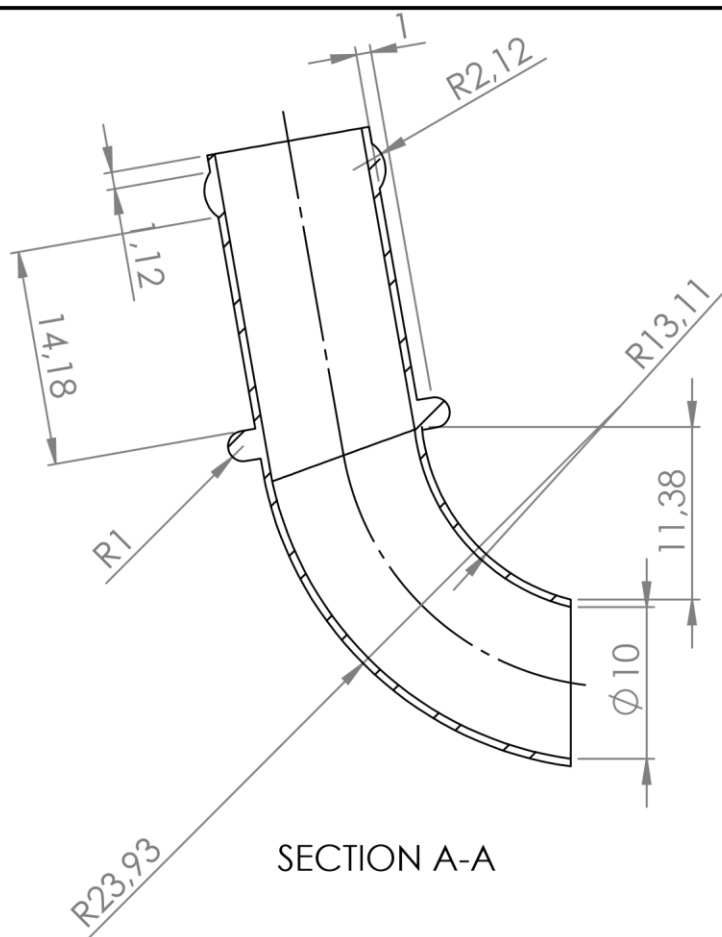
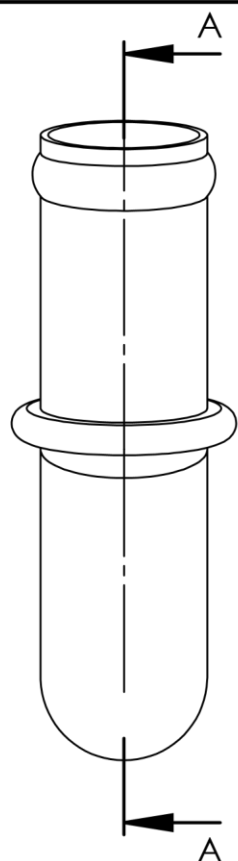
1.	Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselatt		
2.	Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselati ots	1	
3.	Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselati sisendtoru	1	
4.	Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselati kinnitus	1	
5.	Vedelikütuse pritsesüsteemi pihustiadapter	1	
6.	Vedelikütuse pritsesüsteemi rõhuregulaatori ots	4	
7.	M6 Mutter ISO 4034	1	
8.	M6 x25 Polt ISO 4015	1	
Tähis	Nimetus	Hulk	Märkus
	Materjal:	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass: Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselati koostejoonis	
Kontrollis	Risto Ilves		
Kinnitas	Risto Ilves		
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 7/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 07 K



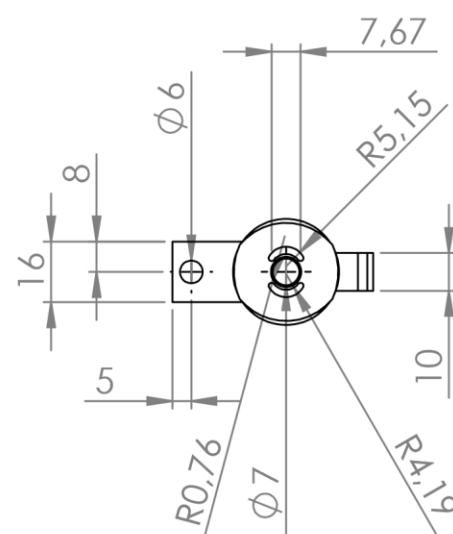
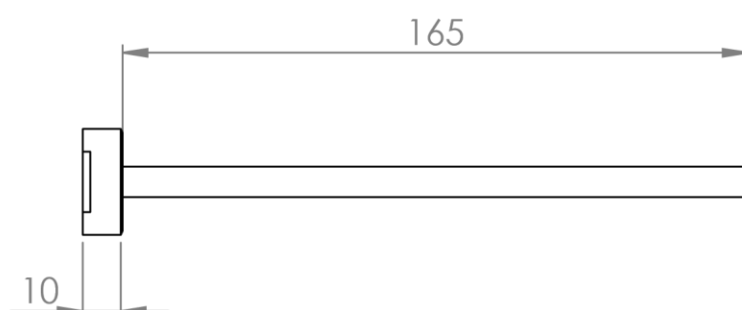
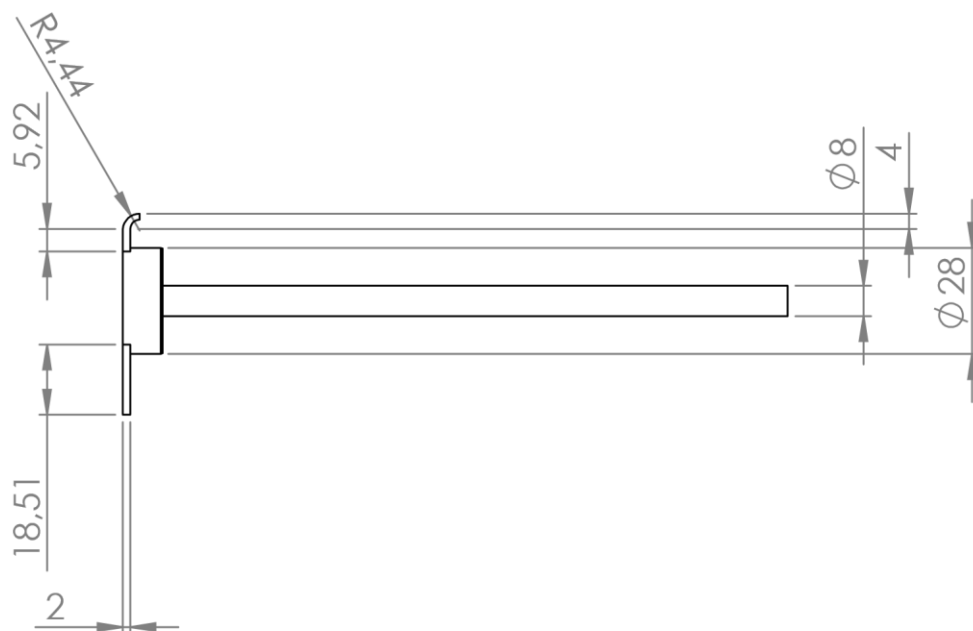
	Materjal:Teras	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mööõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati latt		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College	Leht: 8/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 08 D		

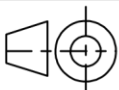


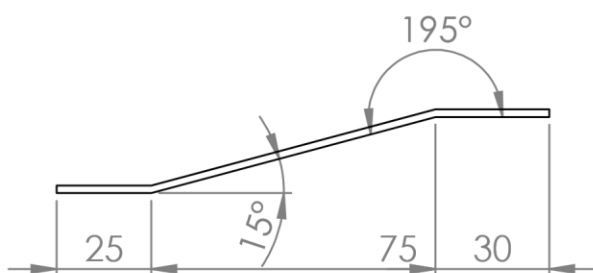
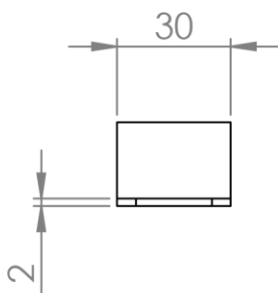
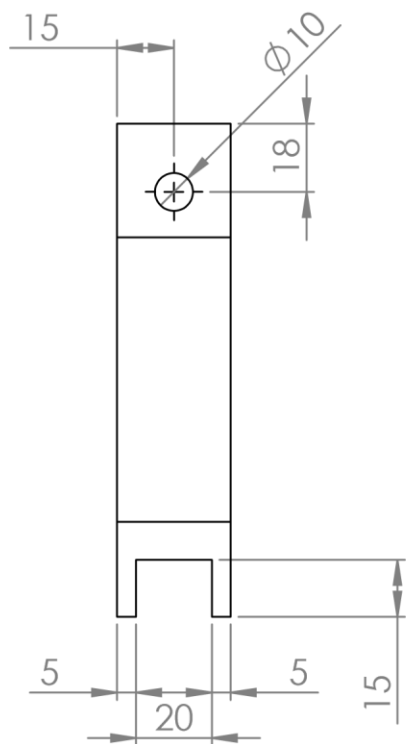
	Materjal:Teras	Näitamata pühälbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 5:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati ots		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 9/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 09 D	

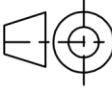



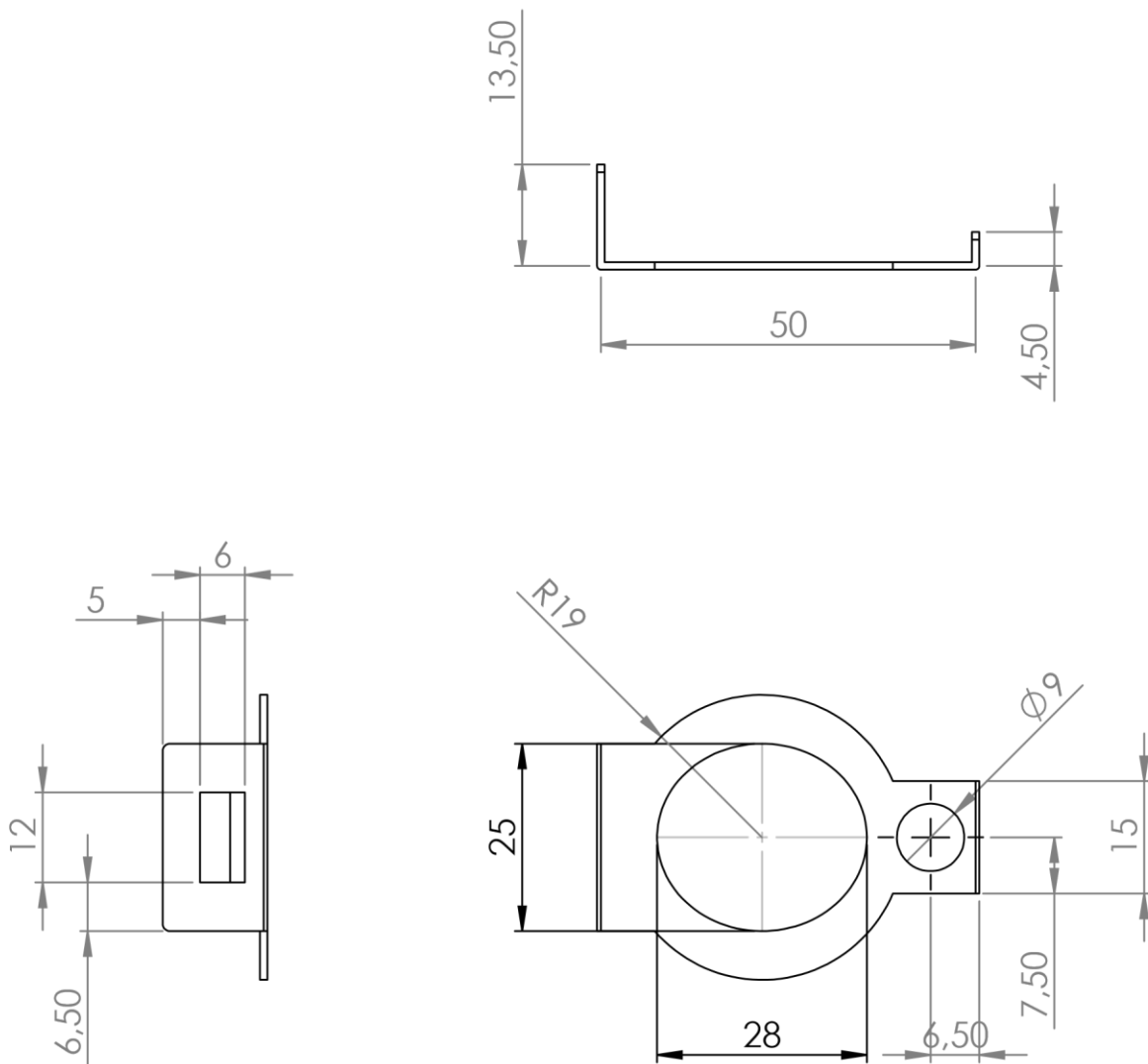
	Materjal:Teras	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 2:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati sisendtoru		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
		Leht: 10/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 10 D	



	Materjal:Teras	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mööd: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi lati rõhuregulaatori ots		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 11/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 11 D	

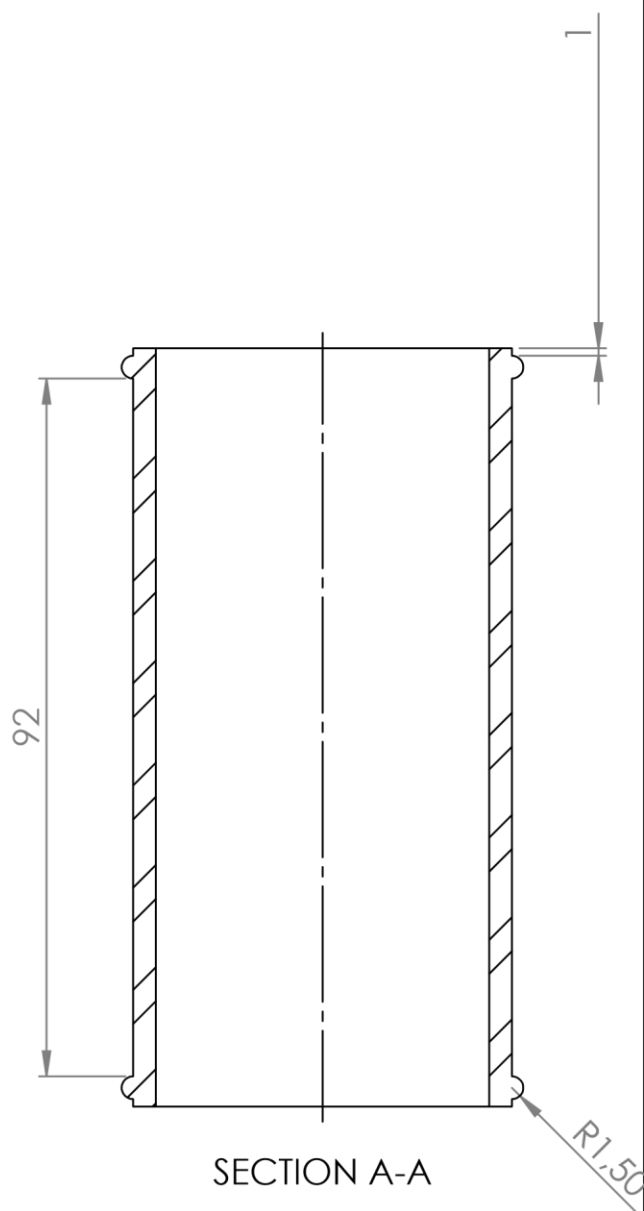
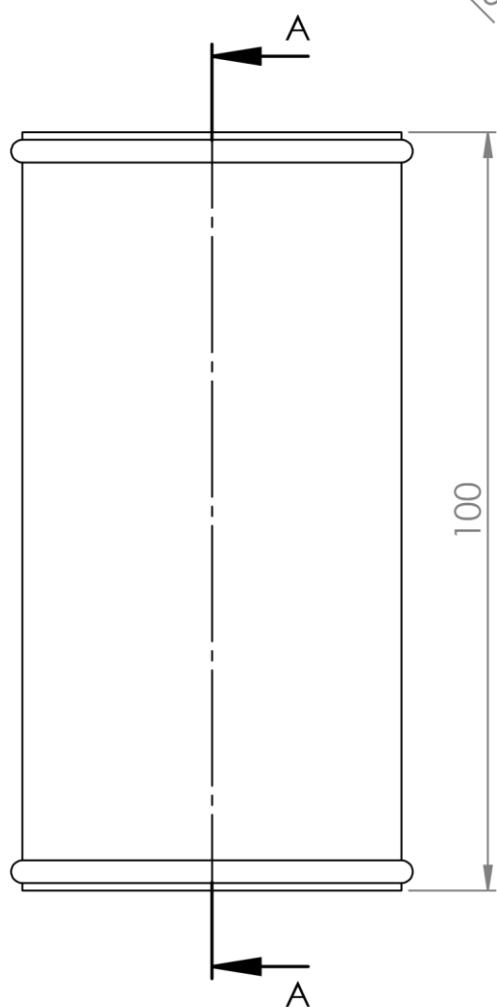
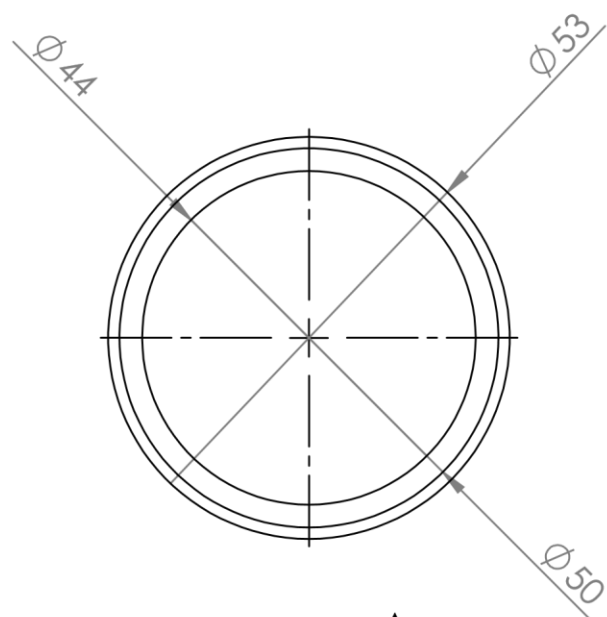


	Materjal:Teras	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Möödt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelkütuse pritsesüsteemi kütuselati kinnitus		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College	Leht: 12/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 12 D		



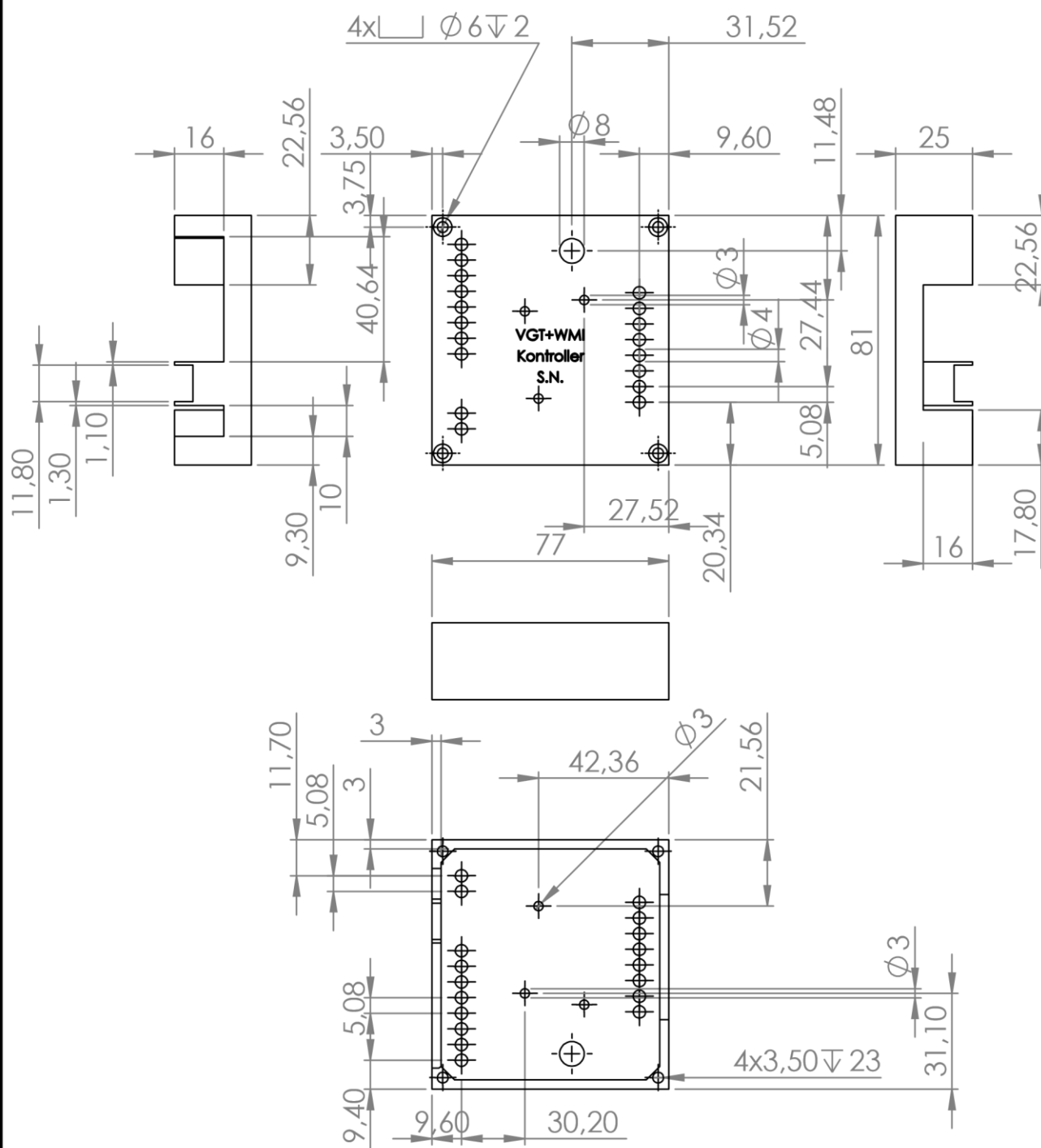
	Materjal:Teras	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mööd: 1:1
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vedelikütuse pritsesüsteemi kütuselati rõhuregulaatori kinnitus		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
	Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College	Leht: 13/13	Tähis: TN 18/140438 C 01 13 D	

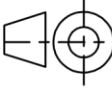

Lisa D

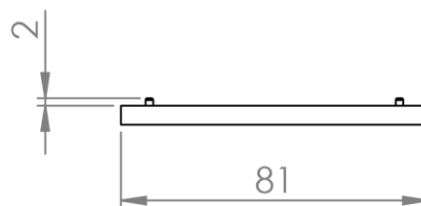
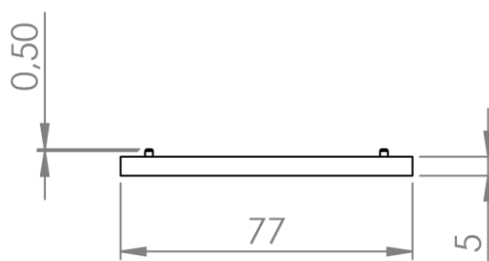
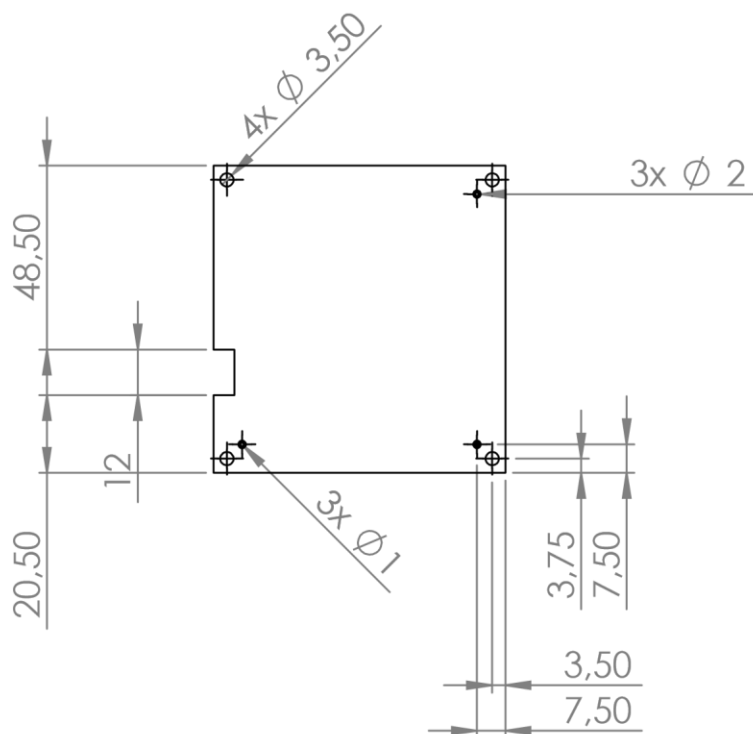


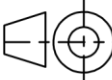

	Materjal:Teras	Näitamata piirhálbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Turbokompressori rõhutoru pikendusadapter		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 1	Tähis: TN 18/140438 D 01 01 D	

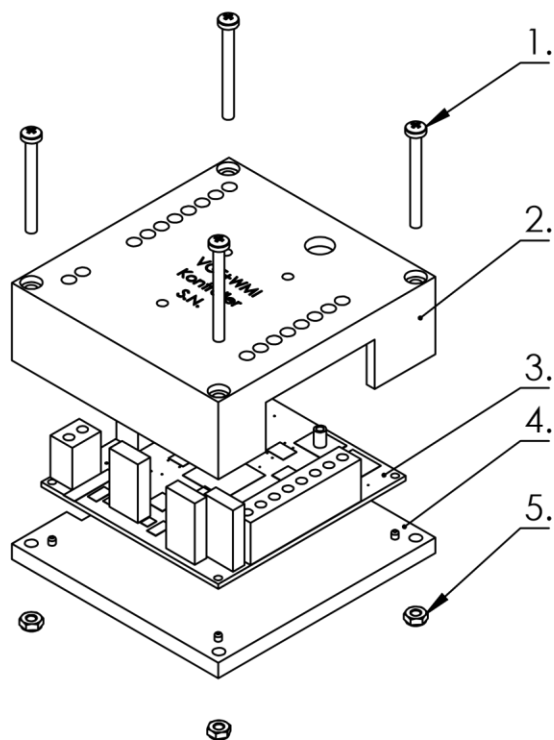
Lisa E




	Materjal:	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri korpuse pealmine pool		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 1/3	Tähis: TN 18/140438 E 01 01 D	



	Materjal:	Näitamata piirhälbed ISO 2768-m	Mass:	Möödt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri korpuse alumine pool		
Kontrollis	Risto Ilves			
Kinnitas	Risto Ilves			
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 2/3	Tähis: TN 18/140438 E 01 02 D	



1.	M3 x 30 Polt ISO 7045	4	
2.	Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri korpuse pealmine	1	
3.	Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri	1	
4.	Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri korpuse alumine	1	
5.	M3 Mutter ISO 4032	4	
Tähis	Nimetus		Hulk Märkus
	Materjal:	Näitamata piirhálbed	Mass: Mõõt: 1:2
Teostas	Sander Nahk	Nimetus: Vesi-metanool pritsesüsteemi kontrolleri koostejoonis	
Kontrollis	Risto Ilves		
Kinnitas	Risto Ilves		
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tartu Tehnikakolledž Tartu Technology College		Leht: 3/3	Tähis: TN 18/140438 E 01 03 K

Lisa F

Tabel 1. Heitgaaside emissioonide keskmised tulemused tühikäigul

rpm	750	750	750	750	750	750	750	750
katsekütus	orig,ilma	orig,klaasi	orig,eta	orig,meta	vnt,ilma	vnt,klaasi	vnt,eta	vnt,meta
CO[%vol]	0,02025	0,0235	0,01825	0,01425	0,017	0,01325	0,01425	0,021
HC[ppm vol]	42,5	407	115,75	22,5	92,5	110,75	91,25	141
NO[ppm vol]	95	68,75	74,75	95	79,5	81,75	69	66,5
CO2[%vol]	3,06	2,8975	2,905	2,91	2,83	2,8975	2,87	2,9525
Läbivus[/m]	0,095	0,045	0,04	0,065	0,0475	0,0275	0,055	0,025

Tabel 2. Heitgaaside emissioonide keskmised tulemused pöörlemisagedusel 2000 RPM

rpm	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
katsekütus	orig,ilma	orig,klaasi	orig,eta	orig,meta	vnt,ilma	vnt,klaasi	vnt,eta	vnt,meta
CO[%vol]	0,023	0,19375	0,23825	0,1605	0,0215	0,02	0,02275	0,025
HC[ppm vol]	42,25	342,25	115,5	35	77,75	96	81	119,25
NO[ppm vol]	47,75	28,25	38,25	22	65,75	59,5	52	55,75
CO2[%vol]	2,6275	2,595	2,545	2,6175	2,915	2,815	2,775	2,7925
Läbivus[/m]	0,05	0,03	0,0025	0,0175	0,0075	0,0275	0,04	0,0375

Tabel 3. Heitgaaside emissioonide keskmised tulemused pöörlemisagedusel 3500 RPM

rpm	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
katsekütus	orig,ilma	orig,klaasi	orig,eta	orig,meta	vnt,ilma	vnt,klaasi	vnt,eta	vnt,meta
CO[%vol]	0,02725	0,19975	0,38925	0,17375	0,02825	0,0965	0,356	0,31575
HC[ppm vol]	45,25	331,25	239,5	49	69,5	86,5	88,25	105,25
NO[ppm vol]	59,25	24,75	48	20,5	73,75	34,5	33,5	29,5
CO2[%vol]	3,3225	3,1675	3,05	3,265	3,51	3,36	3,2	3,3975
Läbivus[/m]	0,2775	0,3475	0,35	0,35	0,1675	0,145	0,215	0,245

Lisa G

```
/*Begining of Auto generated code by Atmel studio */
#include <Arduino.h>

/*End of auto generated code by Atmel studio */

//Beginning of Auto generated function prototypes by Atmel Studio

void rpmTrigger();
//End of Auto generated function prototypes by Atmel Studio


int MAP=A1;           //MAP anduri pin
int N75=10;           //N75 solenoidi pin
int INJ1=A11;         //Pihusti nr1 pin
int INJ2=A7;          //Pihusti nr2 pin
int PMP=9;            //Pumba relee pin

int CRNK=2;           //Mootori pöörete signaali pin
//int SPD=PB1;        //Kiiruse signaali pin

int TPS=A5;           //Drosselklapi taseme anduri pin
//int CLT=PF4;         //Jahutusvedeliku temperatuuri pin
//int IAT=PF5;         //Sisselaskeõhu temperatuuri pin
//int EGT=PF1;         //Väljalaskegaaside temperatuuri pin

int MAPVALUE;         //Muutuja MAP anduri signaali jaoks
float kpa;             //Rõhu väärtuse muutuja kilopascalites
int INJcase;          //Muutuja pihustitsükli valimiseks
int RPM;              //Muutuja pöörete jaoks

int TPSVALUE;         //Muutuja TPS arvutuse jaoks
int TpS;              //Muutuja tps jaoks

int pwmcaseswitcher;  //muutuja n75pwm arvutuse jaoks

int N75pwm;           //Muutuja N75 klapi jaoks

float BOOSTSET;       //Muutuja seaderõhu jaoks

void setPwmFrequency(int pin, int divisor) {           //pwm sageduse muutja kood
    byte mode;
    if(pin == 5 || pin == 6 || pin == 9 || pin == 10) {
        switch(divisor) {
            case 1: mode = 0x01; break;
            case 8: mode = 0x02; break;
            case 64: mode = 0x03; break;
            case 256: mode = 0x04; break;
            case 1024: mode = 0x05; break;
            default: return;
        }
    }
    if(pin == 5 || pin == 6) {
        TCCR0B = TCCR0B & 0b11111000 | mode;
    } else {
        TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | mode;
    }
}
```

```

    }
    } else if(pin == 3 || pin == 11) {
    switch(divisor) {
        case 1: mode = 0x01; break;
        case 8: mode = 0x02; break;
        case 32: mode = 0x03; break;
        case 64: mode = 0x04; break;
        case 128: mode = 0x05; break;
        case 256: mode = 0x06; break;
        case 1024: mode = 0x7; break;
        default: return;
    }
    TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | mode;
}
}
}

```

```

int rpmActual;           //Muutuja RPM jaoks
int rpmLastTeethSeenTime; //Muutuja RPM jaoks

```

```

unsigned char teethNo = 0; //Muutuja RPM jaoks
long int rpmMicros = 0;    //Muutuja RPM jaoks

```

```

void setup() {
    // Ettevalmistav kood, jooksutatakse üks kord läbi, siin tehakse kõik
    //algseadistused

    pinMode(N75, OUTPUT);           //N75 määratakse väljundiks
    pinMode(INJ1, OUTPUT);          //INJ1 määratakse väljundiks
    pinMode(INJ2, OUTPUT);          //INJ2 määratakse väljundiks
    pinMode(PMP, OUTPUT);           //PMP määratakse väljundiks

    pinMode(CRNK, INPUT);           //Crnk määratakse sisendiks

    //digitalWrite(CRNK,LOW);
    //pinMode(SPD,INPUT);           //SPD määratakse sisendiks
    pinMode(TPS, INPUT);            //TPS määratakse sisendiks
    //pinMode(CLT, INPUT);          //CLT määratakse sisendiks
    //pinMode(IAT, INPUT);          //IAT määratakse sisendiks
    //pinMode(EGT, INPUT);          //EGT määratakse sisendiks
    Serial.begin(115200);           //Serial ühenduse seadistus/ debuggimiseks

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(CRNK), rpmTrigger, RISING);
    //katkestuse seadistamine pöörete lugemiseks
    DDRE = (1<<PE6);               //led seadistamine
    PORTE = (0<<PE6);               //led seadistamine

    setPwmFrequency(N75, 64);       //pwm freq muutja
}

```

```

    BOOSTSET=float(190);      //Boost rõhu määraja absoluutkpa'des hetkel 1 bar
    ülerõhku

    digitalWrite(PMP,HIGH); // Väljundi PMP kõrgeks seadmine
}

void rpmTrigger() {          //rpm katkestuse funktsiooni kood

    unsigned long now = micros(); // aja määramine

    if (now - rpmLastTeethSeenTime > 400) {
        teethNo++;
        if (teethNo == 1) {
            teethNo = 0;
            rpmActual = (unsigned int)((((1000000*60)/((now-rpmMicros)))));
            rpmMicros = now;
        }

    }

    if (now - rpmLastTeethSeenTime > 200000) {          //mootori mitte töötamise
    kontroll

        rpmActual = 0;          //Kui ei tööta, siis mootori pöörded=0
    }

}

void Boostpwm(){              //PWM väärtuse N75klapi jaoks
    arvutamine sõltuvalt rõhust ja tps asendiandurist          //mida suurem number,
                                                                //seda rohkem labad keeratud rõhu tõstmiseks
    if(kpa<BOOSTSET and TpS<15 and N75pwm<20){          //tühikäik ja cruise seade,
    labad nii, et gaasid liiguks kergemalt ning rõhku väga vähe või üldse mitte
        N75pwm=15;          //vahemik 0-255
        pwmcaseswitcher=1;          //muutuja oleku muutmiseks
    }
    if(kpa<BOOSTSET and TpS<15 and N75pwm>20){          //tühikäik ja cruise seade,
    labad nii, et gaasid liiguks kergemalt ning rõhku väga vähe või üldse mitte
        N75pwm=N75pwm-15;          //Vaakumsolenoidi
    aeglane sulgemine
        pwmcaseswitcher=1;
    }

    else if(kpa<BOOSTSET and TpS>15 and pwmcaseswitcher==1){          //juhul kui
    vajutatakse gaasipedaalile ning tullakse üle cruise seadest
        N75pwm=30;
        //Vaakumsolenoidi väärtuseks 30
        pwmcaseswitcher=0;
    }

    else if(kpa<float(145) and TpS>15 and N75pwm<175 and pwmcaseswitcher==0){
    //juhtum, kui gaasipedaal üle 15% ning ollakse kiirendamas ja rõhk alla
    145kpa ning klapp avatud vähem kui 175
        N75pwm=N75pwm+18;
    }

}

```

```

        else if(kpa>float(145) and kpa<BOOSTSET and TpS>15 and N75pwm<217 and
pwmcaseswitcher==0){ //juhtum, kui gaasipedaal üle 15% ning ollakse kiirendamas ja
rõhk üle 145 kpa ning klapp avatud vähem kui 217
            N75pwm=N75pwm+6;
        }
        else if(kpa<BOOSTSET and TpS>15 and N75pwm>217 and pwmcaseswitcher==0){
//juhtum, kui gaasipedaal üle 15% ning n75 klapp on jõudnud 85% juurde
            N75pwm=N75pwm;
        }
        else if(kpa>=(BOOSTSET-15) and N75pwm>125){ //juhul kui
boost üle set point -15kpa, siis labasid avatakse 10 kaupa
            N75pwm=N75pwm-10;
        }
        else if(kpa>BOOSTSET and N75pwm>135){ //juhul kui boost üle
set point, siis labasid avatakse 22 kaupa
            N75pwm=N75pwm-22;
        }
    }
}

void pwmton75(){ //pwm väljundi tekitamine vaakumsolenoidi
juhtimiseks
    analogWrite(N75,N75pwm);
}

void loop() { //lõputu tsüklil

    PORTE = (1<<PE6); //LED väärtus kõrgeks
    MAPVALUE= analogRead(MAP); //MAP anduri lugemine ADC's
    //Serial.println(MAPVALUE); //debug jaoks prindin ADC'st tulnud väärtuse
    kpa=float(0.40376584326698249231*MAPVALUE-2.0220983064849235853)-18; //map
anduri signaali töötlemine arusaadavaks kpa ühikuks

    TPSVALUE= analogRead(TPS); //loetakse TPS signaali väärtust
    TpS=map(TPSVALUE,85,800,0,100); //muudetakse tps signaali väärtus
arusaadavaks 0-100 vahemikku

    Serial.print("Rõhk on: ");
    Serial.println(kpa); //debug jaoks prindin kpa väärtuse
    Serial.print("N75: ");
    Serial.println(N75pwm); //debug jaoks prindin n75 klapi antava
pwm väärtuse
    Serial.print("TPS on: ");
    Serial.println(TpS); //debug jaoks prindin tps väärtuse
    //Serial.println(rpmActual); //debug jaoks prindin rpm väärtuse

    INJcase=map(kpa,75.0,400.0,0,9); //seadistan juhtumid pihustite
juhtimise jaoks

    switch(INJcase){ //valin erinevate juhtumite vahel sobiva pihustite
juhtimise algoritmi
        case 0:
            digitalWrite(INJ1,LOW);
            digitalWrite(INJ2,LOW);
            delay(10);
            break;
        case 1://112kpa
            PORTE = (0<<PE6);
            digitalWrite(INJ1,HIGH);

```

```

        digitalWrite(INJ2,HIGH);
        delay(20);
        digitalWrite(INJ1,LOW);
        digitalWrite(INJ2,LOW);
        delay(30);
        break;
case 2:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(22);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(32);
    break;
case 3:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(26);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(24);
    break;
case 4:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(28);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(22);
    break;
case 5:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(28);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(22);
    break;
case 6:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(30);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(20);
    break;
case 7:
    PORTE = (0<<PE6);
    digitalWrite(INJ1,HIGH);
    digitalWrite(INJ2,HIGH);
    delay(32);
    digitalWrite(INJ1,LOW);
    digitalWrite(INJ2,LOW);
    delay(18);
    break;

```

```

        case 8:
            PORTE = (0<<PE6);
            digitalWrite(INJ1,HIGH);
            digitalWrite(INJ2,HIGH);
            delay(34);
            digitalWrite(INJ1,LOW);
            digitalWrite(INJ2,LOW);
            delay(16);
            break;
        case 9://
            PORTE = (0<<PE6);
            digitalWrite(INJ1,HIGH);
            digitalWrite(INJ2,HIGH);
            delay(36);
            digitalWrite(INJ1,LOW);
            digitalWrite(INJ2,LOW);
            delay(14);
            break;
    }

    Boostpwm();
    pwmtot75();
}

```

Mina, _____,

(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,

(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(*allkiri*)

Tartu, _____

(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)